

ADVERTIMENT. L'accés als continguts d'aquesta tesi doctoral i la seva utilització ha de respectar els drets de la persona autora. Pot ser utilitzada per a consulta o estudi personal, així com en activitats o materials d'investigació i docència en els termes establerts a l'art. 32 del Text Refós de la Llei de Propietat Intel·lectual (RDL 1/1996). Per altres utilitzacions es requereix l'autorització prèvia i expressa de la persona autora. En qualsevol cas, en la utilització dels seus continguts caldrà indicar de forma clara el nom i cognoms de la persona autora i el títol de la tesi doctoral. No s'autoritza la seva reproducció o altres formes d'explotació efectuades amb finalitats de lucre ni la seva comunicació pública des d'un lloc aliè al servei TDX. Tampoc s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant als continguts de la tesi com als seus resums i índexs.

ADVERTENCIA. El acceso a los contenidos de esta tesis doctoral y su utilización debe respetar los derechos de la persona autora. Puede ser utilizada para consulta o estudio personal, así como en actividades o materiales de investigación y docencia en los términos establecidos en el art. 32 del Texto Refundido de la Ley de Propiedad Intelectual (RDL 1/1996). Para otros usos se requiere la autorización previa y expresa de la persona autora. En cualquier caso, en la utilización de sus contenidos se deberá indicar de forma clara el nombre y apellidos de la persona autora y el título de la tesis doctoral. No se autoriza su reproducción u otras formas de explotación efectuadas con fines lucrativos ni su comunicación pública desde un sitio ajeno al servicio TDR. Tampoco se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al contenido de la tesis como a sus resúmenes e índices.

WARNING. The access to the contents of this doctoral thesis and its use must respect the rights of the author. It can be used for reference or private study, as well as research and learning activities or materials in the terms established by the 32nd article of the Spanish Consolidated Copyright Act (RDL 1/1996). Express and previous authorization of the author is required for any other uses. In any case, when using its content, full name of the author and title of the thesis must be clearly indicated. Reproduction or other forms of for profit use or public communication from outside TDX service is not allowed. Presentation of its content in a window or frame external to TDX (framing) is not authorized either. These rights affect both the content of the thesis and its abstracts and indexes.

**FACTORES PRE-SACRIFICIO Y SU EFECTO SOBRE EL
COMPORTAMIENTO ANIMAL, LA CALIDAD DE LA CANAL Y
LA CARNE EN TERNEROS DE ENGORDE**

TESIS

**Presentada por el Departamento Animal y Ciencia de los Alimentos de la Facultad
de Veterinaria de la Universidad Autónoma de Barcelona**

**En Cumplimiento Parcial de los Requisitos para el Título de
DOCTOR EN PRODUCCIÓN ANIMAL**

Por

Denise Pamela Sánchez Oviedo

Co-dirigido por

Maria Devant Guille

Sònia Martí Rodríguez

Bellaterra, Abril 2023



**FACULTAT DE
VETERINÀRIA**

**FACTORES PRE-SACRIFICIO Y SU EFECTO SOBRE EL
COMPORTAMIENTO ANIMAL, LA CALIDAD DE LA CANAL Y
LA CARNE EN TERNEROS DE ENGORDE**

TESIS

Presentada por el Departamento Animal y Ciencia de los Alimentos de la Facultad de
Veterinaria de la Universidad Autónoma de Barcelona

En Cumplimiento Parcial de los Requisitos para el Título de
DOCTOR EN PRODUCCIÓN ANIMAL

Por

Denise Pamela Sánchez Oviedo

Co-dirigido por

Maria Devant Guille

Sònia Martí Rodríguez

Bellaterra, Abril 2023

**Denise Pamela
Sánchez Oviedo**
Autora

Maria Devant Guille
Co-directora

Sònia Martí Rodríguez
Co-directora

MARIA DEVANT GUILLE, Investigadora de la Unidad de Rumiantes del Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentaria,

SÒNIA MARTÍ RODRÍGUEZ, Investigadora de la Unidad de Rumiantes del Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentaria, y

ELENA ALBANELL TRULLAS, Catedrática de la Universidad del Departamento de Ciencia Animal i de los Alimentos de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Autónoma de Barcelona

Certifican:

Que la memoria titulada “Factores pre-sacrificio y su efecto sobre el comportamiento animal, la calidad de la canal y la carne en terneros de engorde”, presentada por Denise Pamela Sánchez Oviedo por optar el grado a doctor dentro del programa de Producción Animal, del Departamento de Ciencia Animal y de los Alimentos de la Universidad Autónoma de Barcelona, que ha estado realizando bajo la co-dirección de Maria Devant Guille y Sònia Martí Rodríguez y, considerándola terminada, autoriza su presentación para que sea juzgada por el tribunal correspondiente.

Y para que conste los efectos que corresponden, firma la presente a Caldas de Montbui, 21 de abril del 2023

Maria Devant Guille
Co-Directora

Sònia Martí Rodríguez
Co-Directora

Elena Albanell Trullas
Tutora

“Me enseñaron que el camino del progreso no era rápido ni fácil”

Marie Curie

“Mira que te mando que te esfuerces y seas valiente; no temas ni desmayes, porque Jehová tu Dios estará contigo en dondequiera que vayas”

Josué 1:9

A mis valientes,
mi Emma y mi Juampa

AGRADECIMIENTOS

La realización de esta tesis no hubiera sido posible sin la guía y dedicación de mis directoras Maria Devant y Sònia Martí, quienes dedicaron sus esfuerzos en capacitarme, valorar cada esfuerzo mío y por sobre todo tenerme paciencia. Poder contar con ellas me ha puesto sobre grandes oportunidades para crecer tanto profesionalmente como personalmente. Sonia, valoro el tiempo y dedicación que has invertido para enseñarme estadística y explicarme sobre que va cada cosa que no llegaba a entender, comprender los momentos difíciles por la que he pasado y por tu insistencia de poder ser mejor cada día. A ti María, que has logrado estar presente siempre, desde las correcciones de los artículos hasta el avance de la tesis, por también insistir en superarme como persona y como alumna. Gracias a las dos por persistir conmigo en esta carrera que cada etapa tuvo su sube y baja de emociones, gracias por dedicar hasta la última gota de esfuerzo para concluir esta tesis con éxito. Gracias también a Elena Albanell que ha aceptado ser mi tutora de tesis, la que ha visto progresos y ha valorado cada uno de ellos, confiando en mí y en mi capacidad para seguir adelante. Finalmente, gracias a vosotras por enseñarme a amar la ciencia, a buscar la perfección, a investigar, a repetir, a mejorar y a innovar por sobre todas las cosas.

El IRTA hizo siempre que me sintiera como en casa, la amabilidad de las personas que conforman y conformaron el Departamento de Rumiantes hizo una familia más para mí. Gracias Anna y Elena, por aportar la buena vibra siempre, ellas iban a tope de trabajos, pero siempre con una sonrisa (carcajada) que rompía el momento tenso dentro de la oficina, nunca pierdan ese aire que les caracteriza. A Marta por estar siempre para mejorar los artículos y ayudar con estadística. A los post-docs Lourdes y Josevi, siempre mostrase atentos y ayudando a nosotros los doctorandos que aún nos queda trecho en la investigación. Mi querida Lucia, mi Luchilu, que desde el primer día me hizo sentirme cómoda en el departamento, con un mate en la mano y un abrazo bien caluroso (como somos los sudamericanos), con un “¿qué tal estas, amiguita?” de cada día, con una cumbia de fondo. Gracias por acompañarme durante el proceso de ser madre, gracias por mimarme siempre, extrañaré poder reírnos a carcajadas en la oficina sin que nadie se entere de lo que estamos hablando ya sea en guaraní o en kurepi. A Ricky ricón, el chico que esperaba cada tarde para hablar de la vida, porque era momento de relax, por la mañana a penas el saludo, pero llegaba las 16 hs y él ponía en práctica su español, ¡ya no hables tanto que hay que acabar la tesis! Adri macaco, aunque ya no estás tengo la

esperanza de que leas al menos los agradecimientos, espero que sigas aprendiendo bien el guaraní con algún otro paraguayo por ahí, extrañaré tus lanzamientos de proyectiles que ayudaban a que no durmieramos mientras trabajábamos. La Cristi, fuiste una clave secreta para evitar aburrirse en el trabajo, gracias por escuchar las odiseas que tenía cada día, por alentarme a seguir cuando ya tenía bajado los brazos, por tus “galletas sin azúcar” que hicieron que no engorde durante la temporada de escritura de tesis. El grupo no estaría completo sin Cesc, que en momentos difíciles me ayudó con todo lo que tenía que resolver como novata en el laboratorio, y la Marina que no dudo en ayudarme en cada caos de la vida, como estudiante y turista eterna y por aconsejarme muchas cosas para hacerme la vida más fácil como doctoranda. Al Xavi, el de buen comer, que me ha ayudado a juntar datos de mis experimentales, compañero de viajes y de almuerzos, el que bajaba un cambio cuando iba pintando mal la cosa, su energía tranquila y mi energía de ansiosa era lo mejor para el proyecto, sino todo explotaría. A la Anna Sole que también estuvo presente en la primera etapa del experimental, no había panzota que la frene. A los que se incorporaron después pero que son importantes también en este capítulo de la vida llamada Tesis. Al Sergi, que siempre me pregunta por la Emma. A la querida Aida y sus dulces, a Keyla la súper informática, a Guillem que siempre le pone buena onda (energía) a todo para que la tensión de la oficina disminuya. A todos ustedes (vosaltres) que hicieron una gran aventura de mi carrera profesional, de los que aprendí cosas que no tenía ni idea (cultura general). Espero no poder olvidarme de ninguno, son todos igual de importantes y siempre les tendré presente en mi carrera profesional, porque esto recién empieza.

Por otra parte, el equipo IRTA Monells ha sido de gran ayuda en cada fase del proyecto. Gracias Joel, por la enseñanza sobre la tecnología de la carne, de los parámetros de calidad, los procesos llenos de protocolos y ultra minuciosos para obtener resultados de cada estudio. A María Font, gracias por sacarme dudas de la cabeza, aquellas cosas que no las veía muy claro al principio y que ahora me son fáciles de hablar sobre ello. A los colaboradores de cada proyecto, que de seguro hay un montón, así como Sara Bover, parte de IRTA Funcionalidad y Seguridad Alimentaria, que me ha ayudado con la evaluación de la microbiología de la carne. No me olvido de las empresas colaboradoras del proyecto WELBEEF, Guillem Planell y Pedro del grupo VIÑAS; Eliseu Isla de Cooperativa D’IVARS y Carlos Jarrillo de GRUPO MEDINA, por no dudar en contribuir con la ciencia, el bienestar animal y la mejora de la calidad de la carne dentro de la

industria cárnica. Gracias a la Agropecuaria Montgai de Lleida, que también ha colaborado con la obtención de datos para los estudios cediendo sus instalaciones y sus personales. Nada de estos sería posible sin el compromiso continuo de cada uno de ustedes; espero poder haber ayudado con el objetivo propuesto del proyecto.

Como alumna becaria por la BECAL Paraguay, no debo de olvidar agradecer la oportunidad de poder salir del país para capacitarme con todo este conocimiento adquirido a lo largo de esta etapa de doctorado. Espero poder implementarlo en mi querido Paraguay y poder volver con las manos llenas para repartir ciencia, por sobre todo mejorar el bienestar animal y la calidad de la carne de los terneros que se ceban en el sistema extensivo. Conozco de las falencias que tiene como productor principal de carne vacuno y lo que se podría mejorar a través de los conocimientos que aprendí en el extranjero. Gracias a los coordinadores de la BECAL por la paciencia y dedicación con los becarios.

No puedo dejar pasar esta oportunidad de agradecer a mi familia, la que está lejos, la que lucho conmigo madrugada, día y noche cuando necesitaba hablar con alguien, la familia que hizo que me sintiera más abrazada que nunca, la que no rechazo ninguna llamada mía y siempre estuvo para lo que necesitase, solo una palabra de aliento hacía que cada día retome fuerzas y continúe con esta aventura diaria. Mi mamá, la más sagrada de todas, la que no dejaba de doblar rodillas y no paraba de orar por su hija, por su yerno, por su nieta. La que siempre estaba presente en cada etapa de mi vida, cuando fui mamá, cuando atravesé un sinfín de cosas que solo ella tiene idea. Gracias mami, gracias por no escatimar tu tiempo, tu energía, tu paciencia para conmigo, siempre fueron necesarias tus palabras, tus oraciones y tu apoyo incondicional. A mi papi, el que (no sé de dónde saca) pero él da todo siempre, gracias por mimarme, cuidarme la casa, la micha, mi mamá y cuidar de mis hermanos, la verdad que aun estando lejos eres un súper héroe para mí, para tu nieta y un ejemplo de hombre para mi esposo. No alcanzarán ni 20 páginas de agradecimiento para poder expresar mi cariño y para poder hacerle saber a la gente que sin el sacrificio que ustedes hicieron un tiempo atrás hoy a valido la pena. Me siento muy orgullosa de ser su hija, muy alegre de que disfruten de su Emma Lauren (a la distancia) y espero no poder defraudarles nunca en la vida. My little sis, la que ahora ya tiene 27 (creo), ha pasado tantísimo tiempo que rohechaga'uiterei, ni si quiera tenemos una foto actual juntas, sos mi quebranto de día y mi almohada de llantos de noche. Quiero siempre ser tu referente, que veas que la vida es tan hermosa y tan dura a la vez pero que siempre

se puede disfrutar, gracias por ser mi OHANA y mi cable a tierra, aunque lejos estemos siempre hay algo que nos une, bendigo siempre tu vida y ¡que prograses más que yo! David, el hermano que siempre fue exigente conmigo porque siempre supo que podía más, gracias por tu cariño, por el sobri churro que me diste, gracias a Cristi, que es la mujer que más unida a la familia me mantiene. Cuento los días para reencontrarnos, mientras tanto déjenme que dedique parte de mi tesis a ustedes que son la familia que Dios me dio. Gracias a los tres por cuidar de mis padres, que eso no tiene precio y no sé cómo devolver tan noble acto. Les amo y les extraño.

También a la familia que elegí, a la tía Marlene, mi hermanita paraguayita, añe'eta ndeve guaranipe (jopará) porque ikatu upeicha reikuaata la importancia reime siempre chendie ha che familiandie, nde ha'e peteñ ava especial che rekope ha ndaikuaai mbaeichaitepa ame'eta ndeve la aguije opamba'e emè cheve ¡Rohayhu ndeve hetaiterei che paraguayita porã! A mis amigas del CRESA que estuvieron allí para llenar mi vinculo social con mucho amor y por sobre todo compañía, Cristi, Alex, Yoli, Miriam, Yuli, etc... se que me olvido de algunos. À minha amiga Janahina, a mulher que sempre tem uma conexão comigo, que parece que nos conhecemos a vida inteira. Obrigada pela ajuda que me deu neste processo de doutorado, pelo menos a primeira etapa na Seu de Urgell ¡Obrigada por tudo! A Libni y a la vida que nos volvió a unir, llegamos a esta etapa de la vida donde nos pide a gritos acabarlo con éxito. Falta poco churra “todo lo puedo en Cristo que me fortalece”. Al tío Alexis y a su amistad honesta y destacable. A los pri más pro que re pro en lo que hacen y sus profesiones, gracias por ayudarme con la tecnología y el diseño.

Por último, pero mucho más importante, mi esposo Juan Pablo, mi Juampa, creo que no estaría escribiendo esta tesis y esta parte final de la tesis (los agradecimientos y las últimas correcciones) si no fuera por ti, por tu confianza. Quien diría que estoy cerrando con éxito esta etapa, si, ésta, la que quise renunciar un montón de veces, pero tu estuviste ahí para evitarlo. Te mentiría si te digo que no estoy llorando al escribir estas palabras, pero como ya me conoces, no te puedo negar. Mi día, mi sol, mi despertar de cada lucha daría; nunca dejaste de creer en mí, en mi capacidad, en lo que tenía para dar, y en el futuro que me esperaba. Mi aventura estaría incompleta sin ti, solo Dios sabe lo mucho que agradezco tenerte como esposo, como padre de Emma, como compañero de vida. Gracias amado esposo, vidita mía, por ser tan persistente en cumplir nuestros sueños, por no tirar la toalla, por sufrir conmigo, por perfeccionar mi carácter y por creer

que sí puedo, que si puedo acabar los artículos en un tiempo que no existe, por exigirme y convencerme de que llegar a la meta es pan comido para mí. Gracias por hacerme ver todo lo que recorrimos y todo lo que ya he logrado. Gracias por mi Emma, por amarla, dedicar tu tiempo y ser cada día el papá que ella necesita. Mi princesa, he llegado a la etapa final de esta larga carrera gracias a ti, gracias a que exiges cada día más de mí, sé que me tienes de ejemplo y quiero demostrarte que todo lo que te propongas en la vida lo puedes lograr, que nadie te diga lo contrario. No dudes que la teta siempre estará para ti, tengamos que sumar le kilómetros al coche o que la gasolina suba a 10 €/litro, titi es titi, es la conexión más hermosa y agotadora a la vez, ha valido la pena todo este sacrificio mi pompeya, juntas lo hemos logrado! Eres lo mejor que me pasó en la vida, me has dado mejores motivos para continuar, para avanzar, para perfeccionarme, para dar todo de mí, hasta la última gota de amor (y de leche), de luz y de perseverancia. Esta tesis va dedicada a ti, a tu papá, que me dieron tiempo de acabarla, gracias por tu paciencia y por entender, prometo que no volveré a tocar una computadora en casa por un buen tiempo, y te dedicaré más tiempo de lo que te mereces ¡¡Les amo a los dos con todo mi corazón!!

Creo que es el agradecimiento más largo que he hecho en mi vida, pero también creo que toda esta vida les debo a ustedes. AGUIJE!

ABSTRACT

In the finishing phase of beef cattle, various pre-slaughter factors can negatively affect efficiency, welfare, carcass, and meat quality. These factors include the production system, farm management and installations, and pre-slaughter management such as transportation and lairage duration. They can impact meat pH and color, which may compromise meat commercialization. This thesis aimed to identify the factors that most affect the stress of fattening bulls and ultimately the quality of the carcass and meat. Through three studies, the objective was to establish strategies at the farm, transport, and slaughter level to improve the intensive fattening system.

In the first study, various intensive production systems of fattening cattle were evaluated to assess their performance, behavior, carcass, and meat quality. The study involved three systems, which differed in sex, breed, and days on the farm. However, the results showed no significant differences in efficiency, intramuscular fat, or meat tenderness between the production systems. Nevertheless, crossbred Holstein with Angus bulls had a higher ultimate meat pH than Holstein bulls, resulting in a negative impact on the shelf life of crossbred Holstein with Angus bulls. Additionally, the meat color of crossbred Holstein with beef breed heifers was suboptimal, possibly due to unadjusted levels of antioxidants in their diet.

The second study aimed to evaluate the use of ceiling fans as a strategy for mitigating heat stress in crossbred bulls during the summer months in the finishing phase, and their impact on efficiency, behavior, carcass, and meat quality. The findings revealed that the installation of ceiling fans was not optimal, which impaired the behavior of the bulls by increasing their activity and reducing their rumination, and their performance by decreasing their daily gain. However, the ultimate meat pH improved in bulls that were housed in barns with ceiling fans.

The management practices within 24 hours before slaughter, such as handling during loading and unloading, transportation, and lairage duration, can also affect the ultimate meat pH. The third study conducted in this thesis aimed to evaluate the impact of lairage time on behavior, physiology, carcass, and meat quality in crossbred bulls raised in intensive production systems after a short (~3 h) or long (~10 h) transport. The results showed that the behavior of the bulls during lairage time differed depending on the duration of transport. Moreover, in short transports, lairage time had no significant impact

on meat quality, but in long transports, extended lairage time negatively affected the ultimate meat pH, increased the prevalence of DFD (dark, firm, and dry) meat, and impaired the shelf life of the meat.

Despite variations observed in efficiency, behavior, and carcass and meat quality in the three studies conducted in this thesis, the occurrence of negative impacts on meat quality was minimal, indicating that overall, the pre-slaughter management in the production systems under investigation is satisfactory.

RESUMEN

Los factores pre-sacrificio pueden tener un impacto negativo en la eficiencia productiva, el bienestar animal y la calidad de la canal y la carne durante la fase de finalización de los terneros de engorde. Los factores que pueden afectar el pH y el color de la carne incluyen el sistema productivo, el manejo en granja y las instalaciones, así como el manejo previo al sacrificio, como el transporte y el tiempo de espera en el matadero, lo que puede afectar la comercialización de la carne de ternera en la industria cárnica. A lo largo de esta tesis, se ha intentado identificar los factores que tienen el mayor impacto para establecer estrategias de mejora en nuestro sistema intensivo de engorde de terneros. El objetivo de la tesis fue identificar los factores que afectan el estrés de los terneros de engorde, que están estrechamente relacionados con la calidad de la canal y la carne, y definir estrategias de mejora a nivel de granja, transporte y sacrificio en el sistema de producción intensivo de terneros. Para lograr este objetivo, se llevaron a cabo tres estudios que cubrieron cada una de las fases previas al sacrificio.

El primer estudio de la tesis evaluó tres sistemas intensivos de producción de vacuno de engorde criados simultáneamente bajo las mismas condiciones de alojamiento y cuidado, pero con diferencias en sexo, raza y tiempo en la granja, con el objetivo de describir su rendimiento, comportamiento y calidad de la canal y la carne. Los resultados demostraron que no había diferencias significativas en la eficiencia de producción, la grasa intramuscular o la terneza de la carne entre los diferentes sistemas productivos. Sin embargo, se observó que el pH de la carne fue más alto en terneros cruzados Angus en comparación con los terneros frisonos, lo que afectó negativamente la vida útil de la carne en terneros cruzados Angus. El color de la carne de las hembras cruzadas con razas cárnicas no fue óptimo, probablemente debido a que el nivel de antioxidantes en la dieta no se ajustó adecuadamente.

El segundo estudio se centró en evaluar la eficacia de los ventiladores como estrategia para mitigar el estrés por calor en la última fase de engorde durante los meses de verano y su impacto en el comportamiento, la productividad y la calidad de la canal y la carne. Se observó que la instalación de los ventiladores no fue óptima y tuvo un efecto negativo tanto en el comportamiento, con un aumento de la actividad y una reducción del tiempo de rumia, como en la productividad con menor ganancia diaria. Sin embargo, los resultados mostraron una mejora en el pH y en el color de la carne en los terneros alojados en naves con ventiladores.

El manejo previo al sacrificio, que incluye la carga y descarga de los animales, el transporte y el tiempo de espera en el matadero, es otro de los factores que pueden influir en el pH de la carne. En el tercer estudio de la tesis se investigó el efecto del tiempo de espera en el matadero después de transportes cortos (~3 h) y largos (~10 h) en terneros de engorde producidos en sistemas intensivos sobre su comportamiento, parámetros fisiológicos y calidad de la canal y carne. Se observó que el comportamiento de los terneros en los corrales de espera fue diferente según la duración del transporte. Mientras que en los transportes cortos el tiempo de espera no tuvo un impacto significativo en la calidad de la carne, en los transportes largos, el tiempo de espera prolongado tuvo un efecto negativo en el pH de la carne, aumentando el riesgo de aparición de carne DFD y reduciendo su vida útil.

A pesar de que se detectaron variaciones en la eficiencia, el comportamiento y la calidad de la canal y la carne en los tres estudios realizados en esta tesis, los problemas de calidad de la carne fueron poco frecuentes, lo que sugiere que, en general, el manejo pre-sacrificio en los sistemas productivos estudiados fue adecuado.

RESUM

Els factors pre-sacrifici poden tenir un impacte negatiu en l'eficiència productiva, el benestar animal i la qualitat de la canal i la carn durant la fase de finalització dels vedells de greix. Els factors que poden afectar el pH i el color de la carn inclouen el sistema productiu, el maneig a la granja i les instal·lacions, així com el maneig previ al sacrifici, com ara el transport i el temps d'espera a l'escorxador, el que pot afectar la comercialització de la carn de vedella a la indústria càrnica. Al llarg d'aquesta tesi, s'ha intentat identificar els factors que tenen el major impacte per establir estratègies de millora en el nostre sistema intensiu de vedells de engreix. L'objectiu de la tesi va ser identificar els factors que afecten l'estrès dels vedells d'engreix, que estan estretament relacionats amb la qualitat de la canal i la carn, i definir estratègies de millora i nivell de granja, transport i sacrifici en el sistema de producció intensiu de vedells d'engreix. Per assolir aquest objectiu, es van dur a terme tres estudis que van cobrir cadascuna de les fases prèvies al sacrifici.

El primer estudi de la tesi va avaluar tres sistemes intensius de producció de boví d'engreix criats simultàniament sota les mateixes condicions d'allotjament i cura, però amb diferències en sexe, raça i dies en la granja, amb l'objectiu de descriure el seu rendiment, comportament i qualitat de la canal i la carn. Els resultats van demostrar que no hi havia diferències significatives en l'eficiència de producció, el greix intramuscular o la tendresa de la carn entre els diferents sistemes productius. No obstant això, es va observar que el pH de la carn era més alt en vedells creuats Angus en comparació amb els vedells frisos, el que va afectar negativament la vida útil de la carn en vedells creuats Angus. El color de la carn de les femelles creuades amb races càrnies no va ser òptim, probablement degut al fet que el nivell d'antioxidants a la dieta no es va ajustar adequadament.

El segon estudi es va centrar en avaluar l'eficàcia dels ventiladors com a estratègia per mitigar l'estrès per calor en l'última fase d'engreix durant els mesos d'estiu i el seu impacte en el comportament, la productivitat i la qualitat de la carn i la canal. Es va observar que la instal·lació dels ventiladors no va ser òptima i va tenir un efecte negatiu tant en el comportament, amb un augment de l'activitat i una reducció del temps de rumia, com en la productivitat amb menor guany diari. No obstant, els resultats van mostrar una millora en el pH i en el color de la carn en els vedells allotjats en naus amb ventiladors.

El maneig previ al sacrifici, que inclou la càrrega i descàrrega dels animals, el transport i el temps d'espera a l'escorxador, són uns altres dels factors que poden influir en el pH de la carn. En el tercer estudi de la tesi es va investigar l'efecte del temps d'espera a l'escorxador després de transports curts (~3 h) i llargs (~10 h) en vedells d'engreix produïts en sistemes intensius sobre el seu comportament, paràmetres fisiològics i qualitat de la canal i carn. Es va observar que el comportament dels vedells en els corrals d'espera va ser diferent segons la durada del transport. Mentre que en els transports curts el temps d'espera no va tenir un impacte significatiu en la qualitat de la carn, en els transports llargs, el temps d'espera prolongat va tenir un efecte negatiu en el pH de la carn, augmentant el risc d'aparició de carn DFD i reduint la seva vida útil.

INDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	XI
ABSTRACT	XVII
RESUMEN.....	XIX
RESUM	XXI
CAPITULO I	13
Introducción	13
1. Introducción.....	15
i. Descripción de sistema de producción de carne de vacuno en España y en Cataluña con especial atención en los problemas de calidad de la canal y de la carne: pH alto y carnes oscuras, duras y secas.....	15
1. Sistema de producción de vacuno de carne en España y en Cataluña	15
2. Relación entre el sistema de producción y la calidad de la canal y carne	17
ii. Factores relacionados con el manejo y alojamiento y su efecto sobre la calidad de la canal y de la carne durante la fase de engorde de terneros en un sistema de producción intensivo.....	22
iii. Efecto del manejo horas previas al sacrificio, el transporte y manejo en el matadero sobre la calidad de la canal y la carne.....	25
2. Bibliografía.....	30
CAPITULO II	43
Objetivos	43
1. Objetivo General.....	45
2. Objetivos Específicos	45
CAPITULO III	47

Characterization of three different mediterranean beef fattening systems: performance, behavior, and carcass and meat quality	47
SUMMARY	49
ABSTRACT.....	50
1. Introduction	51
2. Materials and Methods.....	52
2.1. Experimental Design, Animals, Housing, and Diets.....	52
2.2. Feed Ingredient Analyses	54
2.3. Measurements and Sample Collection	55
2.4. Meat Analyses	56
2.5. Statistical Analysis	57
3. Results	58
3.1. Performance and Carcass Quality	58
3.2. Animal Behavior	59
3.3. Meat Quality.....	63
4. Discussion.....	67
5. Conclusions	70
6. References.....	71
CAPITULO IV.....	75
The effect of ventilation on productive parameters, animal activity, and carcass and meat quality in fattening bulls.....	75
SUMMARY	77
ABSTRACT	78
1. Introduction.....	79
2. Materials and Methods.....	81

2.1. Animals housing and diet.....	81
2.2. Animal performance and animal behaviour	82
2.3. Blood sample collection	83
2.4. Humidity of bedding material	83
2.5. Carcass sample collection	83
2.6. Meat sample collection.....	83
2.7. Statical analyses	84
3. Results.....	85
4. Discussion.....	92
5. Conclusions.....	96
6. References.....	97
CAPITULO V	103
The effect of lairage time at the slaughterhouse after a short or long transport in dairy beef bulls on animal behavior, carcass quality and meat quality	103
SUMMARY.....	105
ABSTRACT.....	106
1. Introduction.....	107
2. Materials and Methods.....	109
2.1. Study 1. Short length transports (3 h)	109
2.2. Study 2. Long length transports (10 h).....	109
2.3. Animals and data collection	110
2.3.1. Animal Behavior	110
2.3.2. Blood sample collection and analyses.....	111
2.4. Carcass sample collection	112
2.5. Meat quality.....	112

2.6. Statistical analyses.....	113
3. Results.....	114
3.1. Study 1. Short length transports (3 hours).....	114
3.1.1. Animal Behavior	114
3.1.2. Physiological parameters in blood	115
3.1.3. Carcass and meat quality.....	115
3.2. Study 2. Longt length transports (10 hours).....	118
3.2.1. Animal Behavior	118
3.2.2. Physiological parameters in blood	120
3.2.3. Carcass and meat quality.....	120
4. Discussion.....	123
5. Conclusion	125
6. References.....	126
CAPITULO VII.....	133
Discusión General.....	133
1. La influencia de los factores pre-sacrificio sobre el pH y la calidad de la carne..	144
1.1. ¿Sobre cuál sistema productivo deberíamos centrar los esfuerzos en controlar los factores previos al sacrificio? ¿algunos factores ambientales como la estación del año deberían tenerse en cuenta cuando se quieren establecer protocolos para evitar la aparición de carnes DFD?	144
1.2. ¿La actividad de los animales antes del sacrificio se relaciona con el pH de la canal? ¿Podría ser la actividad animal un buen indicador del riesgo de tener carnes con elevados pH; dicha respuesta es diferente según la estación del año?	149
1.3. Otros aspectos de la calidad de la carne registrados en los estudios como el color y su relación con los factores pre-sacrificio estudiados.	155
2. Bibliografía.....	167

CAPITULO VII	175
Conclusiones finales	175

INDICE DE TABLAS

CAPITULO III: Characterization of three different mediterranean beef fattening systems: performance, behavior, and carcass and meat quality

Table 1. Ingredient and nutrient composition of the growing and finishing concentrates.	56
Table 2. Performance and carcass characteristics for the first 168 days and whole study in different Mediterranean beef production systems.	61
Table 3. Animal behavior for the first 168 days in different Mediterranean beef production systems.	63
Table 4. Meat pH, shear force, intramuscular fat and evolution of the shelf life parameters (instrumental color, color perception and purchase decision) over the time in MAP of meat of animals raised in different Mediterranean beef production system.....	64

CAPITULO IV: The effect of ventilation on productive parameters, animal activity, and carcass and meat quality in fattening bulls

Table 1. Description of interactions observed from general activities, agonistic and non-agonistic interaction of animals at the farm.....	82
Table 2. Average, minimum and maximum hours of ceiling fans functioning a day. .	86
Table 3. Performance, concentrate and water intake of finishing bulls allocated in a natural ventilated barn (CTR) and a barn with natural and forced ventilation using ceiling fans (VEN).....	87
Table 4. Animal behavior from finishing bulls allocated in a natural ventilated barn (CTR) and a barn with natural and forced ventilation using ceiling fans (VEN).....	88
Table 5. Carcass quality, meat pH, instrumental color and color stability of a subset (n=48) of finishing bulls allocated in a natural ventilated barn (CTR) and a barn with natural and forced ventilation using ceiling fans (VEN).	91

CAPITULO V: The effect of lairage time at the slaughterhouse after a short or long transport in dairy beef bulls on animal behavior, carcass quality and meat quality

Table 1. Description of interactions observed from general activities, agonistic and non-agonistic interaction of animals waiting at the lairage during 6 hours at the slaughterhouse.	111
Table 2. Social behavior (counts every 15 min) of bulls at the lairage pens during 6 h of lairage time at the slaughterhouse after a short transport (3 hours).....	114
Table 3. Blood parameter measured in a subset of bulls that spent a short lairage time (SLT) and long lairage time (LLT) at the slaughterhouse pens after 3 hours of transport.	115
Table 4. Carcass quality of a subset of bulls that spent a short lairage time (SLT) and long lairage time (LLT) at the slaughterhouse pens after 3 hours of transport.	116
Table 5. Meat pH, instrumental color and microbiology of a subset of bulls that spent a short lairage time (SLT) and long lairage time (LLT) at the slaughterhouse pens after 3 hours of transport.....	117
Table 6. Social behavior (counts every 15 min) of bulls at the lairage pens during 6 h of lairage time at the slaughterhouse after a long transport (10 hours).	119
Table 7. Blood parameter a subset of bulls that spent a short lairage time (SLT) and long lairage time (LLT) at the slaughterhouse pens after 10 hours of transport.	120
Table 8. Carcass quality, meat pH, instrumental color and color perception of a subset of bulls that spent a short lairage time (SLT) and long lairage time (LLT) at the slaughterhouse pens after 10 hours of transport.	121
Table 9. Meat pH, instrumental color and microbiology of a subset of bulls that spent a short lairage time (SLT) and long lairage time (LLT) at the slaughterhouse pens after 10 hours of transport.....	122

CAPITULO VI: Discusión General

Tabla 1. Resumen de las características del sistema productivo, comportamiento animal, manejo e instalaciones, alimentación, eficiencia productiva, época y año en los que fueron sacrificados y calidad de la canal y de la carne los animales de los estudios 1, 2 y 3.. 137

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO I: Introducción

Figura 1. (a) Distribución provincial del nº de cebaderos de vacuno y (b) N° de animales en cebaderos (Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, 2019).....	16
Figura 2. Distribución de razas cebadas en España (Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, 2019).....	17
Figura 3. Principales factores que afectan la calidad de la canal y de la carne contemplados dentro del estudio de la tesis.....	22
Figura 4. . Resumen de los 3 estudios contemplados en la tesis y la influencia de los factores previos al sacrificio durante la fase de engorde del ternero, relacionados con la obtención final de la calidad de canal y de la carne.	28

CAPITULO III: Characterization of three different mediterranean beef fattening systems: performance, behavior, and carcass and meat quality

Figure 1. Daily concentrate intake over the time in crossbred Holstein x beef breeds like Charolais or Limousine heifers slaughtered at 10 months of age (CBH10), Holstein bulls slaughtered at 11 months of age (HB11) and crossbred Holstein with Angus bulls slaughtered at 12 months of age (CAB12) (^{a,b} significant differences $P < 0.05$ between production system within the same period).....	62
Figure 2. Average daily gain over the time in crossbred Holstein x beef breeds like Charolais or Limousine heifers slaughtered at 10 months of age (CBH10), Holstein bulls slaughtered at 11 months of age (HB11) and crossbred Holstein with Angus bulls slaughtered at 12 months of age (CAB12) (^{a,b,c} significant differences $p < 0.05$ between production system within the same period).....	62
Figure 3. (a) Standing, (b) ruminating, (c) self-grooming, and (d) displacement behaviour during the first 168 days of study in crossbred Holstein x beef breeds like Charolais or Limousine heifers slaughtered at 10 months of age (CBH10), Holstein bulls slaughtered at 11 months of age (HB11) and crossbred Holstein with Angus bulls slaughtered at 12 months of age (CAB12) (^{a,b,c} significant differences $p < 0.05$) between production system within the same period).....	65

Figure 4. Evolution of the instrumental colour ((a) lightness, (b) redness, (c) yellowness), (d) colour perception (5-point scale: 1= highly undesirable, 2= moderate undesirable, 3= slightly desirable, 4= moderately desirable and 5= highly desirable), and (e) purchase decision (5-point scale: 1= would definitely not buy, 2= would probably not buy, 3= buy dubious, 4= would probably buy, 5= definitely buy) of meat over the storage time in refrigeration and MAP conditions by production system (crossbred Holstein x beef breeds like Charolais or Limousine heifers slaughtered at 10 months of age (CBH10), Holstein bulls slaughtered at 11 months of age (HB11) and crossbred Holstein with Angus bulls slaughtered at 12 months of age (CAB12)) ^(a,b,c) significant differences $p < 0.05$ between production system within the same day). 67

CAPITULO IV: The effect of ventilation on productive parameters, animal activity, and carcass and meat quality in fattening bulls

Figure 1. Temperature Humidity Index (THI) from year 1 (a) and from year 2 (b) during the 42 days of study. The CTR was the control barn without ceiling fans, and the VEN was the barn with ceiling fans. (VEN) ^{*} significant differences $p < 0.05$ between treatment within the same day). 86

Figure 2. (a) Standing, (b) self-grooming, (c) social behavior, and (d) chasing during the finishing period (CTR = barn without natural ventilation; VEN= with natural and forced ventilation using ceiling fans) ^{*} significant differences between treatment within the same day; $p < 0.05$). 89

Figure 3. (a) Blood lactate concentrate and (b) creatine kinase (CTR = barn without natural ventilation; VEN= with natural and forced ventilation using ceiling fans) ^(*, a y b) significant differences between treatment within the same day; $p < 0.05$). 90

Figure 4. Evolution of lightness (L*) of meat when packaged in MAP in steaks finishing bulls allocated in a natural ventilated barn (CTR) and a barn with natural and forced ventilation using ceiling fans (VEN) ^{*} significant differences $p < 0.05$; [‡] $p < 0.1$ between treatment within the same day). 92

Figure 5. Animals from barn with fan (VEN) standing under the ceiling fans. 94

CAPITULO V: The effect of lairage time at the slaughterhouse after a short or long transport in dairy beef bulls on animal behavior, carcass quality and meat quality

Figure 1. Standing (a) and ruminating (b), of bulls at the lairage pens during 6 h of lairage time at the slaughterhouse after a short transport (different superscripts indicate significant differences $p < 0.05$).....	115
Figure 2. Evolution of the instrumental color (redness (a), yellowness (b)) of meat stored in MAP from short lairage time (SLT) and long lairage time (LLT) at the slaughterhouse after a short transport (* significant differences $p < 0.05$ between treatments within the same day).....	118
Figure 3. Standing (a), drinking (b) and ruminating (c) of bulls at the lairage pens during 6 h of lairage time at the slaughterhouse after a long transport (^{a,b,c} significant differences $p < 0.05$).....	119

CAPITULO VI: Discusión General

Figura 1. Clasificación de los lomos de terneros en función del pH (normal: $pH < 5,8$) y pH alto o DFD (carnes scuras duras y secas: $pH \geq 6,0$).	145
Figura 2. Influencia de las razas sobre el pH del estudio 1 y 2 (24 h post-mortem) y el estudio 3 (transportes cortos: 24 h post-mortem; transportes largos: 36 h post-mortem). Estudio 1: Sistema Productivo (a : hembras frisonas x raza cárnica sacrificadas a los 10 meses de edad; b : machos frisonas sacrificados a los 11 meses de edad; c : macho frisón x Angus sacrificados a los 12 meses de edad); estudio 2: Ventiladores (a y b : machos frisonas x raza cárnica sacrificados a los 11 meses de edad) y estudio 3: transportes cortos (a y b : machos frisonas sacrificados a los 11 meses de edad) y transportes largos (a : machos frisonas x raza cárnica sacrificados a los 12 meses de edad; b y c : machos frisonas sacrificados a los 11 meses de edad).	146
Figura 3. Influencia de las estaciones sobre el pH del estudio 1 y 2 (24 h post-mortem) y el estudio 3 (transportes cortos: 24 h post-mortem; transportes largos: 36 h post-mortem). Estudio 1: Sistema Productivo (a : hembras frisonas x raza cárnica sacrificadas a los 10 meses de edad en verano; b : machos frisonas sacrificados a los 11 meses de edad en otoño; c : macho frisón x Angus sacrificados a los 12 meses de edad en otoño); estudio 2: Ventiladores (a y b : machos frisonas x raza cárnica sacrificados en verano) y estudio	

3: transportes cortos (machos frisones sacrificados en a: verano, b: otoño y c: invierno) y transportes largos (a: machos frisones x raza cárnica sacrificados en primavera; b: machos frisones sacrificados en verano y c: machos frisones sacrificados en invierno).	148
Figura 4. Influencia sobre el pH final de la carne del estudio 3 (transportes cortos: 24 h post-mortem; transportes largos: 36 h post-mortem): la duración del transporte (cortos: ~3h; largos: ~10 h), el tiempo de espera en matadero (1: tiempo de espera corto; 1 a 2 h; 2: tiempo de espera largo; 6 h), las diferentes estaciones (verano, otoño, invierno y primavera) y las diferentes razas (machos frisones; machos cruzados: raza frisona x raza cárnica).	148
Figura 5. Relación de la actividad animal y el efecto de las estaciones del año: porcentaje de los animales tumbados (representados en barras por el color amarillo: sacrificio en verano y por el color naranja: sacrificio en otoño) y porcentaje de los animales rumiando (representados por la línea de color roja) de los diferentes tratamientos del estudio 1 (a: Hembra frisona x raza cárnica sacrificada a los 10 meses de edad; b: macho frisón sacrificado a los 11 meses de edad y c: macho frisón x Angus sacrificado a los 12 meses de edad) y del estudio 2 (a: animales sin ventilación y b: animales con ventilación). 151	
Figura 6. Imagen tomada en granja de los animales con ventilación donde se puede observar a los animales de pie debajo de los ventiladores.	152
Figura 7. Relación de la actividad animal del estudio 3: porcentaje de los animales tumbados (representados en barras) y porcentaje de los animales rumiando (representados en líneas) a lo largo del tiempo de espera (6 h) del tratamiento tiempo de espera largo en matadero.	153
Figura 8. Influencia de las razas sobre la luminosidad (L*), tendencia al rojo (a*) y tendencia al amarillo (b*); (24 h post-mortem: estudio 1 y 2; 36 h post-mortem: estudio 3). Estudio 1: Sistema Productivo (a: hembras frisonas x raza cárnica; b: machos frisones; c: macho frisón x Angus); estudio 2: Ventiladores (a y b: machos frisones x raza cárnica) y estudio 3: transportes cortos (a y b: machos frisones) y transportes largos (a: machos frisones x raza cárnica; b y c: machos frisones).	157
Figura 9. Influencia del tiempo de espera y la duración de los transportes sobre la luminosidad (L*), la tendencia al rojo (a*) y la tendencia al amarillo (b*) del estudio 3 (transportes cortos: 24 h post-mortem; transportes largos: 36 h post-mortem)	

contemplados dentro del estudio 3 : la duración del transporte (cortos: ~3 h; largos: ~10 h), el tiempo de espera en matadero (1 : tiempo de espera corto; 1 a 2 h; 2 : tiempo de espera largo; 6 h).	159
Figura 10. Influencia de las estaciones del año y del tiempo de espera en matadero (1 : tiempo de espera corto; 1 a 2 h; 2 : tiempo de espera largo; 6 h) luego de un transporte corto sobre la luminosidad (L*) y la tendencia al rojo (a*) del estudio 3, evaluadas en los días 1, 5, 8 y 12 post-embalado en MAP.	162
Figura 11. Influencia de las estaciones del año y del tiempo de espera en matadero (1 : tiempo de espera corto; 1 a 2 h; 2 : tiempo de espera largo; 6 h) luego de un transporte largo sobre la luminosidad (L*) y la tendencia al rojo (a*) del estudio 3, evaluadas en los días 1, 5, 8 y 12 post-embalado en MAP.	163
Figura 12. Influencia de las estaciones del año y de la raza (cruzados: frisones x raza cárnica) del estudio 2 sacrificados en verano (1 : Animales sin ventilación; 2 : Animales con ventilación) y del estudio 3 sacrificados en primavera (1 : tiempo de espera corto; 1 a 2 h; 2 : tiempo de espera largo; 6 h) sobre la luminosidad (L*) y la tendencia al rojo (a*) evaluadas en los días 1, 5, 8 y 12 post-embalado en MAP.	165
Figura 13. Imágenes de los cortes de carne de 2,5 cm con pH normal ($5,6 \geq \text{pH} < 5,8$) dispuestas en bandejas con atmósfera modificada (MAP; 70% O ² : 30% CO ²) observadas en los días 1, 5, 8 y 12 post-embalado de los estudios 2 y 3.	166

CAPITULO VII: Conclusiones finales

Figura 1. Principales factores de pre-sacrificio con influencia sobre los indicadores de calidad de la canal y de la carne y las mejoras de estrategias a implementar según resultados obtenidos en los estudios 1, 2 y 3.	180
--	-----

CAPITULO I

Introducción



1. Introducción

i. Descripción de sistema de producción de carne de vacuno en España y en Cataluña con especial atención en los problemas de calidad de la canal y de la carne: pH alto y carnes oscuras, duras y secas.

1. Sistema de producción de vacuno de carne en España y en Cataluña

La producción de carne de vacuno en el Estado Español se diferencia de los sistemas de producción del resto de Europa y del mundo. España se encuentra entre los veinte primeros productores mundiales de carne de vacuno, representando alrededor del 15,3% del valor de la Producción Final Ganadera y el 5,7% del valor de la Producción Final Agraria (Subsecretaría de Agricultura, 2022). La producción de carne de vacuno es una de las principales producciones ganaderas de la Unión Europea (UE), en el año 2018 aportó 35.000 millones de € (Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, 2019) con un volumen de 6.636.950 toneladas de carne (Eurostat, 2022). España se sitúa como tercer país en importancia para este sector ganadero dentro del entorno comunitario de la UE en el 2021 generando 3.196 millones de € tras Francia y Alemania (Sitran, 2022).

España tiene un censo total de bovino alrededor de los 6.5 millones de cabezas en éstos últimos años. Estos animales están distribuidos en aproximadamente 140 mil explotaciones donde el 61% del total de estas corresponde a explotaciones de carne (88.358 explotaciones de cebo). En 2021, se produjeron 717.879 toneladas de carne a partir de 2.552.368 cabezas sacrificadas (Sitran, 2022). La producción de vacuno de carne en España varía en función de cada comunidad autónoma siendo Cataluña, Aragón y Galicia las comunidades autónomas con un mayor censo de cebaderos (Figura 1), aunque el tamaño de estos cebaderos es mucho menor en Galicia en comparación a las comunidades autónomas de Cataluña y Aragón. Al analizar la distribución del volumen de carne producido, Cataluña ocupa el primer lugar siguiéndole Castilla y León, Galicia y Comunidad Valenciana. Castilla la Mancha, Castilla y León, y Extremadura son otras comunidades autónomas donde el cebo de vacuno también es importante, sin embargo, éstas últimas están más especializadas en terneros pasteros, tienen censos y tamaño de

cebaderos un poco menor que en Cataluña y Aragón, los cuales están especializados en el ternero lactante que proviene de granjas lecheras.

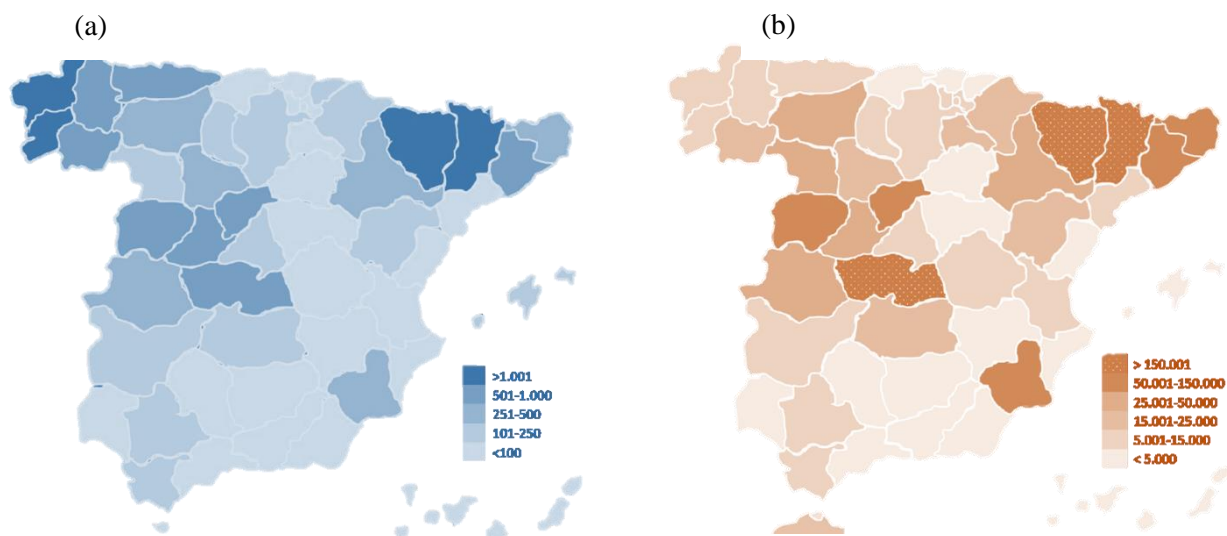


Figura 1. (a) Distribución provincial del nº de cebaderos de vacuno y (b) N° de animales en cebaderos (Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, 2019)

En cuanto al tipo de animal cebado en España según el sexo, el 30,8% de todos los animales cebados fueron hembras y el 69,2% fueron machos (Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, 2019). Por otro lado, las razas mayoritariamente cebadas en España son animales cruzados (mayoritariamente entre raza frisona con Limousine o Charolais), situándose en segundo lugar la raza frisona y en menor proporción otras razas más cárnicas puras como la Limousine, Montbeliard, Charolais y Blue Belga.

El 52% de la producción total de carne de vacuno de España se centra en Cataluña con un total del 18,4% de volumen de carne producidos (Sitran, 2022). De la totalidad de los cebaderos en Cataluña, el 33,9% posee una capacidad de cebo entre 501 a 1000 animales, y el 31,9% posee una capacidad de más de 1001 animales anuales (Sitran, 2021). Por lo tanto, Cataluña se caracteriza por ser una comunidad autónoma donde la producción de vacuno se realiza en grandes cebaderos con mucha capacidad y está basado mayoritariamente en un sistema de producción intensiva. La mayoría de los terneros cebados en Cataluña tienen origen lechero y son machos (72% del total). Estos terneros entran a las granjas con menos de 2 meses de edad y son alimentados con

lactoreemplazante y pienso durante 6-8 semanas antes de entrar en la fase de engorde. Muchos de estos terneros provienen de otros países de la Unión Europea principalmente Francia (52% de terneros importados), Alemania (8%) o Irlanda (8%) (Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, 2019). La principal raza que se ceba en Cataluña es la Holstein o frisona con un 51,2% (94.5% machos y 5.5% hembras), siguiéndole la raza Montbeliard con un 6,7% (59.9% machos y 40,3% hembras) y en tercer lugar la raza Limousine con un 2,9% (66,4% de machos y 33,5% de hembras). Sin embargo, estos últimos años la producción de ternero cruzado con Limousine, Charolais, o Angus han incrementado en España con el objetivo de mejorar la calidad de la canal y de la carne (Figura 2).

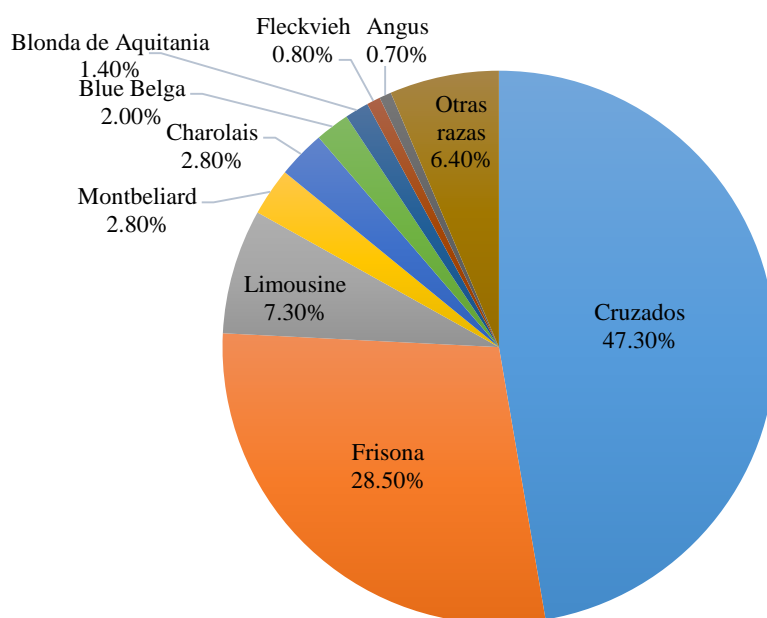


Figura 2. Distribución de razas cebadas en España (Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, 2019)

2. Relación entre el sistema de producción y la calidad de la canal y carne

Europa tiene un rango muy diverso de sistemas de producción de carne que depende de factores tales como las regiones agroclimáticas, la escala de producción ganadera de la región y los requerimientos comerciales. El sistema de producción es un factor determinante para la caracterización de la canal y la carne y puede definirse por los

siguientes factores, como lo son: el sexo (Węglarz, 2010), la raza (Chambaz et al., 2003), la nutrición (Bartoň et al., 2010), el tipo de alojamiento (intensivo, extensivo o mixto; Greenwood, 2021), la edad de sacrificio (Węglarz, 2010; Wulf et al., 1996) y el manejo previo al sacrificio (Raesa et al., 2003; Bureš et al., 2006; Mach et al., 2008). El sistema de producción de vacuno en España se clasifica en extensivo (incluyendo pastizales y pastoreo), agricultura mixta e intensiva. Los sistemas extensivos de producción de carne típicamente incluyen terneras y terneros que se alimentan principalmente en pasturas, los cuales están sujetos a altos niveles de variación ambiental a los que se adaptan mejor los genotipos específicos y es posible que se requiera una suplementación nutricional estratégica dentro de estos sistemas. Por el contrario, los sistemas de producción intensivos pueden mantener un mayor control sobre la nutrición y el medio ambiente, y se utilizan durante el acabado para asegurar la calidad y las especificaciones del producto (Greenwood, 2021). A diferencia de los terneros cebados en un sistema intensivo de engorde de vacuno, los terneros engordados en pastura tienen menor crecimiento (Keane y Allen, 1998) y disminuyen el rendimiento de la canal, la conformación y engrasamiento (Sami et al., 2004). Además, la carne de los terneros cebados en pastura es más oscura (Priolo et al., 2001; Mancini y Hunt, 2005) y tiene menor contenido de grasa intramuscular (Leheska et al., 2008) que la de los terneros cebados en un sistema intensivo con concentrados. La industria cárnica bovina española debe tener en cuenta que el consumidor está dispuesto a pagar por carnes con mayores porcentajes de CLA y mejor relación $\omega 6:\omega 3$, oriundas de animales en pastoreo, así como también las características físicas de la carne, como terneza, y succulencia, oriunda de animales terminados en confinamiento (Castañeda y Peñuela, 2010), los cuales se clasifican como indicadores de frescura y salubridad (Mancini y Hunt, 2005)

Los diferentes sistemas de producción se diferencian entre sí principalmente por la raza, sexo, edad de sacrificio, y tipo de alimentación. En cuanto a la nutrición, concretamente la concentración energética, puede afectar a la calidad de la canal y de la carne. El posible efecto del tipo de alimentación (forraje vs concentrados) es difícil de extraer debido a la interacción de este factor con otros factores vinculados al sistema productivo de cebo (edad, tasa de crecimiento, actividad física). No obstante, aunque parece que la alimentación influye en el color de la carne (Cabrero, 1991), Alberti et al.

(1991) encontraron un color similar en la carne de animales alimentados con piensos o forrajes, y Zea et al. (1999) y Craig et al. (1966) no observaron diferencias al considerar distintos niveles de pienso en la dieta. En un sistema intensivo, durante la fase de acabado, los terneros requieren una alimentación de alto valor energético para garantizar un crecimiento rápido y eficiente, así como los niveles específicos de crecimiento y engorde que pueden incluir el marmoleado de la carne para cumplir con las especificaciones del mercado objetivo (Hynd, 2014). El programa nutricional afecta a la calidad de la canal y de la carne, pero también puede afectar al de peso de sacrificio. Estos dos efectos suelen estar confundidos y por ello, es importante que las comparaciones del efecto del de alimentación durante el acabado se hagan al mismo peso de sacrificio (Zea, 2005).

En cuanto al factor genético y la edad de sacrificio durante el crecimiento y el engorde, se produce sucesivamente un crecimiento del tejido muscular (aumento de la relación músculo/hueso), seguido de un crecimiento del tejido adiposo (aumento de la relación grasa/músculo) (Lonergan et al., 2019). Sin embargo, esta evolución varía de una raza a otra dependiendo de su madurez. Las razas de maduración tardía, como las razas europeas continentales (en particular, las razas Charolais, Limousine, y la Blue Belga), producen canales pesadas con poca grasa. Una proporción más alta de la relación músculo/hueso es el parámetro deseado en el caso que se quiera aumentar al máximo el rendimiento de la canal. Además, las razas de maduración tardía tienen una proporción mayor de la relación músculo/hueso que las razas lecheras (Irshad et al., 2013). Las razas de maduración tardía suelen engordarse a mayor peso vivo aumentando el porcentaje de depósito de grasa para mejorar la calidad de la canal (Weglarz, 2010). Las razas de maduración temprana, como las razas tradicionales británicas (por ejemplo: Angus, Hereford, Shorthorn) tienen una mayor deposición de grasa intramuscular en comparación con las razas de maduración tardía (Irshad et al., 2013). La edad a la que se sacrifica un animal no sólo determina el peso sino también la composición de la canal en función del estado de madurez alcanzado (Pethick et al., 2007).

En cuanto a la influencia del sexo del animal sobre la calidad de la canal y carne, debemos de tener en cuenta que se suelen diseñar programas diferenciados según el sexo, específicamente en el tipo de nutrición y en la edad de sacrificio. Los machos tienen

mayor capacidad para depositar músculo gracias a la testosterona (Rotta et al., 2009), favoreciendo a la deposición de un mayor contenido magro, menor grasa y mayor contenido de huesos en comparación con las canales de hembras (Modzelewska-Kapituła y Nogalski, 2014, Venkata 2015). Los machos también son sexualmente más activos y más susceptibles a los factores estresantes previos al sacrificio (manipulación en granja, mezcla de animales, transporte) que las hembras (Bureš y Bartoň 2012; Daza et al., 2014). Por eso la carne de ternera de machos a menudo tiene parámetros de calidad indeseables, especialmente pH alto y color oscuro (Bartos et al., 1993; Kreikemeier et al., 1998; Mounier et al., 2006), duras y secas (Monin, 1991) en comparación a las carnes que se obtienen de las hembras. Las hembras al tener mayor engrasamiento favorecen a un enfriamiento de la canal más lento promoviendo una reducción de pH más rápida y como consecuencia mejorar otros parámetros de calidad como la ternura (Priolo et al., 2001). Cuando el pH final de la carne es superior a 6,0 la ternura de la carne puede verse afectada negativamente (Silva et al., 1999), se observan aumentos de la capacidad de retención de agua (Apple et al., 2005; Zhang et al., 2005), mala palatabilidad (Viljoen et al., 2002; Wulf et al., 2002), crecimiento de microorganismos hasta niveles inaceptables con desarrollo de malos olores, y a menudo formación de hongos sobre la superficie de la carne (Gardner et al., 2001). El pH está determinado directamente por la capacidad de los músculos para retener agua y por el agotamiento del glucógeno debido a las condiciones previas al sacrificio. A medida que aumenta el pH de la carne, aumenta también su capacidad de retención de agua y la tasa de transferencia de calor (Meynier y Mottram, 1995). Se ha demostrado que la carne de vacuno con un pH a las 24 h post-sacrificio superior a 5,5 es el resultado del agotamiento del glucógeno previo al sacrificio y la consiguiente incapacidad del músculo para acumular una concentración adecuada de ácido láctico (Kannan et al., 2002). No obstante, cuando las carnes tienen un $\text{pH} \geq 5,8$, el pH ya no se considera óptimo e las carnes ya presentan características de carnes oscuras, duras y secas (Hughes et al., 2020), y las carnes con $\text{pH} > 6,0$ ya representan un problema de calidad de la carne mayor, por lo que la industria cárnica directamente las desecha ya que son menos deseables para el consumidor (Pipek et al., 2003; Viljoen et al., 2002; Wulf et al., 2002) y representan problemas de vida útil a posteriori.

La importancia del pH y la retención de agua en los músculos radica en que existe una relación lineal entre la acidez activa de la carne y los valores de luminosidad (L^*). Por ejemplo, un aumento de los niveles de pH en la carne contribuye a una disminución en la luminosidad del color, contrario a ello, una disminución de los niveles de pH hace que los valores de L^* de la carne aumenten (Strzyżewski et al., 2008). Las condiciones previas al sacrificio definen el agotamiento físico y del estrés fisiológico (Immonen y Puolanne, 2000; Nockels et al., 1996) y se definen por varios factores como los son: el tiempo y manejo durante el transporte desde la granja al matadero (Arthington et al., 2003; Hoffman et al., 1998; Honkavaara et al., 2003; Schaefer et al., 1997), tiempo de espera en el matadero (Warriss, 2003), factores climáticos (Kreikemeier et al., 1998; Silva et al., 1999), interrupción social (Apple et al., 1995; Hambrecht et al., 2005), y la novedad del entorno previo al sacrificio (Hambrecht et al., 2005; Mounier et al., 2006).

En España, la industria cárnica penaliza el precio de la canal con descuentos de entre el 30% y el 60% cuando el pH final de la carne es superior a 5,8 clasificándose como carnes devaluadas dentro de la industria cárnica española (Viljoen et al., 2002). Mach et al. (2008) observó una incidencia de un 13.9% de canales con un de pH final $\geq 5,8$ a partir de la observación de 5494 animales. Los autores atribuyen estos resultados al sexo, a la cobertura grasa de la canal, o tiempo de espera en el matadero.

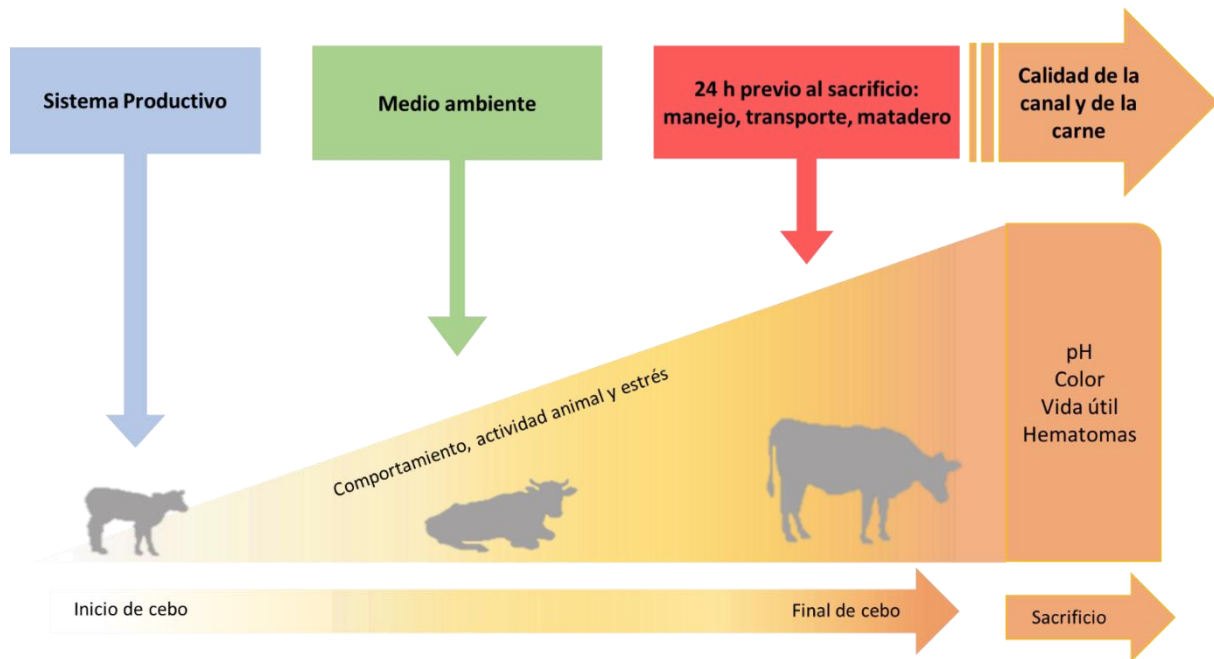


Figura 3. Principales factores que afectan la calidad de la canal y de la carne contemplados dentro del estudio de la tesis.

ii. Factores relacionados con el manejo y alojamiento y su efecto sobre la calidad de la canal y de la carne durante la fase de engorde de terneros en un sistema de producción intensivo.

En España, el sistema de engorde de carne de vacuno es un sistema tradicionalmente intensivo donde los terneros se alojan durante el período de engorde comúnmente en naves parcialmente abiertas con lecho de paja (Alberti et al., 2008; Devant et al., 2016). Dentro de este sistema de producción existen factores de granja que afectan a la calidad de la canal y de la carne, como el manejo, movimientos de terneros, entornos novedosos, fatiga, lesiones, o temperaturas extremas (Grandin, 1996; Gallo, 2003).

El tipo de manejo en las granjas de cebo, la interacción hombre-animal, es un factor que está directamente relacionado con el estado conductual y fisiológico de los animales y este estado conductual y fisiológica tiene también un impacto sobre la calidad final de la carne. Se han realizado grandes intentos para disminuir el agotamiento de la glucosa en los rumiantes antes del sacrificio a través de prácticas de manejo para disminuir la

incidencia pH final altos (Ferguson and Warner, 2008). Aun así, un porcentaje de animales independiente de las estrategias realizada siguen presentando pH finales altos (Mach et al. 2008).

Hoy en día, debido a las consecuencias del cambio climático, una causa de estrés que puede tener un gran impacto sobre la producción bovina y está relacionada con las instalaciones es el estrés por calor. El estrés por calor causado por las altas temperaturas influye en el metabolismo muscular y la calidad de la carne (Lee et al., 1976; Ngoka & Froning, 1982); además el estrés por calor afecta negativamente el bienestar, la salud, y el rendimiento de los terneros (Morignat et al., 2015), y contribuye a un aumento de la mortalidad (Vitali et al. 2009). El estrés por calor además de la concentración de gases debido a una mala ventilación son factores que están ligados directamente al manejo y alojamiento e indirectamente a la alimentación. Dependiendo del diseño y tipo de corrales, los animales pueden experimentar el calor radiante de la tierra o las superficies de hormigón y, sin un manejo adecuado, se podría obtener una pérdida de rendimiento como resultado del estrés fisiológico (Mader et al., 2006). Además, el estado de salud de los animales puede empeorar por los gases nocivos los cuales son promovidos por una mayor fermentación del material del encamado y las heces de los animales si estos no son bien gestionados a través de la limpieza y ventilación. Desde hace muchos años se han implementado estrategias para reducir el estrés por calor; modificaciones ambientales, selección genética para mejorar la termotolerancia, estrategias nutricionales para mejorar el consumo de alimento y disminuir la producción de calor metabólico (Beede y Collier 1986; Chauhan et al. 2015), o el manejo del encamado y retirada del estiércol para reducir el estrés por calor en los corrales a través de la limpieza regular del estiércol son algunas de ellas. Los umbrales de referencia para la temperatura, la humedad y las concentraciones de gases nocivos se pueden encontrar en la literatura para evaluar el bienestar de los terneros alojados en naves durante el verano (SCAHAW, 1999 y 2001; Holt et al., 2004).

Como se comenta en el párrafo anterior, las altas temperaturas hacen que los terneros incrementen el calor inducido por la digestión/fermentación sobre todo en dietas ricas en concentrados (Mader, 2002) produciendo el incremento del estrés por calor. Una de las estrategias usadas por los animales para reducir el estrés por calor es la reducción del

consumo de alimento en las horas más cálidas y concentrar la mayoría del consumo durante las horas más frescas (Soriani et al., 2013). No obstante, este cambio en los patrones de alimentación podría perjudicar las fermentaciones ruminales (De Nardi et al., 2016; Salvati et al., 2015) y si se prolonga en el tiempo, puede conducir a una disfunción ruminal, hasta la aparición de trastornos metabólicos como la acidosis ruminal (Plaizier et al., 2009). Estas prácticas son más comunes en animales alimentados con raciones altas en forraje ya que el alimento se sirve varias veces al día; en animales alimentados con altos niveles de concentrado esta práctica es más complicada de implantar.

Otras estrategias serían las relacionadas con la modificación del ambiente, como proporcionar sombra, una mejor ventilación y aumentar el acceso a agua. La sombra en el caso de terneros en producción intensiva es proporcionada por el alojamiento en naves ya sea total o parcial. La temperatura se puede reducir aún más rociando agua fría en los corrales (Briggs y Rood, 2003), sin embargo, esta práctica hace que las camas se mojen con mayor frecuencia y los animales descansen sobre una superficie húmeda (Shiao et al., 2011) desencadenando un aumento del riesgo de lesiones en los animales por resbalones (Wechsler, 2011) y una reducción del tiempo de descanso, así como también aumentaría la frecuencia de la limpieza de las camas. Este último aspecto no debe subestimarse ya que, como señala la Guía sobre producción e higiene de la carne (Food Standards Agency, 2012) las canales con un nivel elevado de suciedad aumentan el riesgo de contaminación microbiológica de la carne, poniendo en peligro la seguridad alimentaria del consumidor, lo que se conoce como *foodborne diseases*. Otra alternativa que se ha propuesto como método de disipación de calor es la utilización de ventiladores axiales o de techo; sin embargo, en los estudios realizados hasta el momento con el uso de ventiladores se reduce la eficiencia productiva, aumenta la actividad de los animales y se reduce comportamientos como la rumia cuando se finalizan pasteros en granja que no han estado confinados previamente (Magrin et al., 2016). Lo que sí se ha observado, es que los ventiladores reducen la humedad del encamado manteniendo los animales más limpios por lo que el uso de ventiladores podría mejorar el bienestar animal (Magrin et al., 2016).

iii. Efecto del manejo horas previas al sacrificio, el transporte y manejo en el matadero sobre la calidad de la canal y la carne.

Las horas previas al sacrificio (24 horas) conllevan a situaciones que pueden desencadenar potenciales factores de estrés. Durante el periodo más próximo al sacrificio, los terneros están sometidos a un manejo que causa estrés como consecuencia del proceso de traslado de los animales de la granja al matadero (Schaefer et al., 1990; Ferguson y Warner 2008; Huertas et al. 2010). Específicamente, el tiempo y la manipulación durante el transporte de la granja al matadero (Schaefer et al., 1997; Hoffman et al., 1998; Arthington et al., 2003; Honkavaara et al., 2003), el tiempo de espera en el matadero (Warriss, 2003), los factores climáticos (Kreikemeier et al., 1998; Silva et al., 1999), los cambios en la estructura social (Warriss et al., 1984; Jones et al. 1990), las largas distancias (más de 300 km; Arik y Karaca 2017) y la larga duración del transporte (más de 16 h; Gallo et al. 2003; Amtmann et al. 2006), privación del agua y de la comida (Ferguson y Warner, 2008), la interacción humano-animal (Capper, 2001) y la novedad del entorno previo al sacrificio (Hambrecht et al., 2005; Mounier et al., 2006) son algunos ejemplos de manejo que podrían afectar a la calidad de la carne.

Previo al transporte, los terneros de engorde se cargan en camiones en diferentes compartimentos (grupos de 10 a 12 animales por compartimiento, dependiendo del tipo de camión). A menudo los camiones recogen terneros de una sola granja, aunque a veces el camión realiza varias paradas para cargar terneros de diferentes granjas donde terneros de diferentes granjas no se mezclan en un mismo compartimiento. Una vez cargados, se inicia su traslado al matadero. Las condiciones de carga, especialmente los equipos (rampa de carga y muelle), determinan en gran medida los niveles de estrés psicológico y esfuerzo físico. Todo el procedimiento de carga provoca un aumento en la tasa de cortisol en sangre y un aumento en la frecuencia cardíaca de aproximadamente un 80 % en comparación con los niveles basales que estos animales tienen en los corrales de engorde (Lensink et al., 2001; Van de Water et al., 2003).

Las condiciones de transporte como la densidad y la posición de los animales en el camión influyen en las respuestas fisiológicas y de comportamiento de los terneros (Kenny y Tarrant, 1987; Van de Water et al., 2003). Durante el transporte, los terneros generalmente tratan de mantener el equilibrio de pie mientras el vehículo está en

movimiento. Cuando el vehículo está parado, por ejemplo, a su llegada, los animales pueden comenzar a moverse (Knowles, 1999), y es muy probable que haya interacciones agresivas entre ellos (Kenny y Tarrant, 1987). Durante un transporte prolongado a baja densidad, los terneros pueden llegar a acostarse, probablemente expresando fatiga (Grigor et al., 2004). Aunque esto les permite descansar, los terneros que permanecen de pie pueden lesionar a los que están acostados ya que a las densidades actuales no se tiene en cuenta el espacio que necesitan los terneros para levantarse, tumbarse o moverse por el compartimiento (EFSA, 2022). Por otra parte, el impacto del ayuno durante las largas horas de transporte conlleva drásticamente a la pérdida de peso del animal. La tendencia suele ser exponencial, por lo que la tasa de pérdida de peso vivo es más rápida durante las 12 h iniciales de restricción de alimentos y agua y más lenta a partir de entonces (Shorthose y Wythes, 1988). Por ello, las normas europeas han establecido duraciones máximas de transporte de 14 h para terneros adultos. Para duraciones más largas, los animales deben recibir un período de descanso y agua y, si es necesario, alimentos (Directiva de la UE 95/29/EC del 29 de junio de 1995 y Reglamento del Consejo (EC) No. 1/2005 del 22 de diciembre de 2004; Von Borell y Schaffer, 2005; Cockram, 2007). Además, es obligatorio que los mataderos proporcionen alimentos a los animales que no hayan sido sacrificados dentro de las 12 h posteriores a su llegada (Directiva del Consejo 93/199/EC).

Una vez los animales llegan a matadero, el estrés de la descarga y el tiempo de espera en corrales puede tener un efecto sobre la calidad de la canal. Periodos de espera largos previos al sacrificio permiten tiempo a los animales para establecer nuevas jerarquías generando comportamientos agresivos e incremento de lesiones y magulladuras en la canal devaluando su valor (Gregory, 2003). Este aumento de la actividad puede comportar un incrementando el nivel de lactato y cortisol en sangre, reduciendo así la reserva de glicógeno en el músculo, pudiendo afectar así la calidad de las canales (Faucitano, 2001). Algunos estudios muestran que tiempos cortos de la espera en matadero aumentan la incidencia de carnes oscuras, ya que los terneros no tienen suficiente tiempo para descansar o recuperarse del efecto de la privación de alimento y agua durante el transporte (Schaefer et al. 1990; Jarvis et al. 1996; Van de Water et al., 2003; Knowles 1999) además de desencadenar efectos negativos sobre el bienestar animal (Kannan y Mench, 1996;

Nijdam et al., 2005). El período de espera varía mucho, y los efectos sobre el bienestar animal y sobre la calidad de la canal y la carne son uno de los aspectos más discutidos de la producción de carne de vacuno (Gallo et al. 2003; Ferguson y Warner 2008; Díaz et al. 2014). Otros estudios han demostrado que los periodos largos de descanso previo al sacrificio podrían permitir que el ganado reponga las concentraciones de glucógeno muscular, reduzca la deshidratación y la pérdida de peso de la canal y se recupere del estrés físico y emocional causado por el transporte (Jarvis et al. 1996; Liotta et al. 2007; Hogan et al. 2007; Liste et al. 2011; Costa et al. 2019). La dificultad de acceso a los bebederos de agua durante el tiempo de espera en el matadero también influye sobre los parámetros de bienestar animal, la respuesta fisiológica y la calidad de la canal y de la carne. Los animales necesitan beber agua para rehidratar los tejidos, restaurar los electrolitos y las enzimas en el hígado y los músculos, así como la función renal (Hogan et al. 2007). Además, el aumento de la actividad durante la espera en matadero, dependiendo de la intensidad y la duración, conducen a cambios en la concentración de metabolitos musculares (p. ej., fosfato de creatina, glucógeno), temperatura y pH en el momento del sacrificio (Warner et al., 2000; Warner et al., 2005).

Así también, tras el sacrificio del animal, se desencadenan una serie de reacciones que determinan los cambios en el pH durante el período post-mortem que influyen negativamente en las características intrínsecas de la carne (Mounier et al., 2006) especialmente en las cualidades más apreciadas por los consumidores, como lo son la ternura, jugosidad y sabor. La glucólisis post-mortem y la disminución del pH del músculo se detiene, dando lugar a ácido láctico y su consecuente descenso del pH. En condiciones normales de refrigeración de la canal, cuando el pH del músculo desciende a aproximadamente 5,45 se inhibe la actividad de las enzimas glucolíticas, ésta glucolisis debe de ser lenta y completa para disminuir el pH rápidamente (Casellas, 2008). Además, este pH final tiene gran influencia en la textura de la carne, la capacidad de retención de agua, la resistencia al desarrollo microbiano y el color. Factores como la fuerza iónica, el pH, o la oxidación afectan la proteólisis post-mortem del musculo (Hopkins y Thompson, 2002). Los radicales libres acumulados en respuesta al estrés oxidativo dañan la membrana celular y la integridad mitocondrial a través de la peroxidación lipídica, lo que aumenta considerablemente el riesgo de reacciones oxidativas durante el envejecimiento

post-mortem de la carne y el procesamiento de productos cárnicos (Estevez, 2015). Además, la carne se vuelve susceptible a los procesos oxidativos debido a los altos niveles de ácidos grasos insaturados y múltiples iniciadores que incluyen pigmentos, metales de transición y ciertas enzimas oxido reductasas (Xiong, 2000). Por lo tanto, la oxidación se ha identificado como una de las principales causas que afectan la funcionalidad de la proteína muscular y la calidad sensorial, nutricional y de vida útil de los productos animales (Zhang et al., 2013). El resultado de la oxidación por causa del pH final obtenido al momento del sacrificio hace que las industrias cárnicas desechen la carne con pH altos e indeseados ya que afectaría a la vida útil del producto, provocando pérdidas económicas.

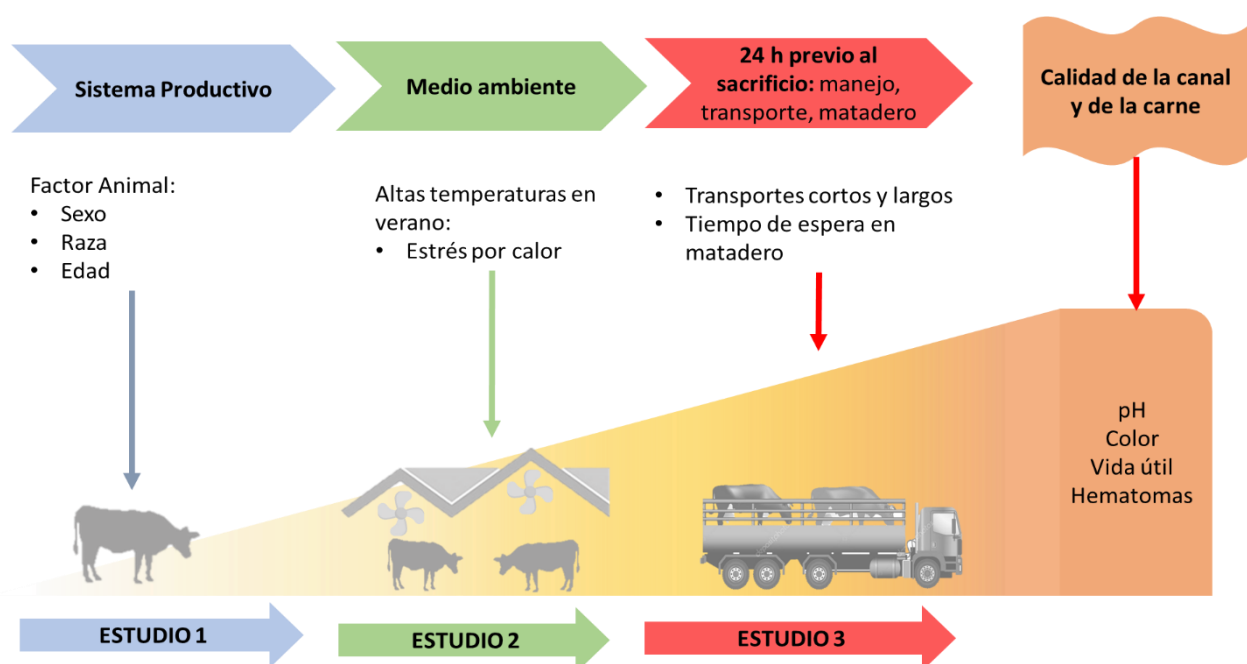


Figura 4. . Resumen de los 3 estudios contemplados en la tesis y la influencia de los factores previos al sacrificio durante la fase de engorde del ternero, relacionados con la obtención final de la calidad de canal y de la carne.

Finalmente, hay una gran variabilidad individual entre canales y carnes provenientes de un mismo ganadero o genotipo. El consumidor tiene como criterio de compra el color y la distribución de la grasa de la carne, pero dicha variabilidad de la calidad (sobre todo de textura) afecta la decisión de compra (repetición) del consumidor (Clinquart et al., 2022). Las causas son multifactoriales por lo que definir las estrategias de manejo permitiría mejorar esta variabilidad sobre la carne como producto final, proporcionando una estabilidad en la preferencia de compra del consumidor. Sin

embargo, muy a menudo ciertos factores ligados al sistema de producción de carne de vacuno (en particular la fase previa al sacrificio) influyen significativamente en la calidad sensorial, nutricional e incluso tecnológica de la carne, como así también afectando la vida útil del producto.

2. Bibliografía

- Alberti, P., Panea, B., Sañudo, C., Olleta, J.L., Ripoll, G., Ertbjerg, P., Christensen, M., Gigli, S., Failla, S., Concetti, S., Hocquette, J.F., Jailler, R., Rudel, S., Renend, G., Nute, G.R., Richardson, R.I. & Williams, J.L. 2008. Live weight, body size and carcass characteristics of young bulls of fifteen European breeds. *Livestock Science* 114: 19–30.
- Alberti, P., Sañudo, C. Y Santolaria, P. 1991. ITEA 11, II: 425-427.
- Amtmann, V.C., Gallo, C., van Schaik, G., Tadich, N., 2006. Relaciones entre el manejo antemortem, variables sanguíneas indicadoras de estrés y pH de la canal en novillos. *Arch. Med. Vet.* 38, 259–264.
- Apple, J., E. Kegley, D. Galloway, T. Wistuba, and L. Rakes. 2005. Duration of restraint and isolation stress as a model to study the dark-cutting condition in cattle. *Journal of Animal Science*, 83: 1202-1214.
- Apple, J., M. Dikeman, J. Minton, R. McMurphy, M. Fedde, D. Leith, and J. Lensuh. 1995. Effects of restraint and isolation stress and epidural blockade on endocrine and blood metabolite status, muscle glycogen metabolism, and incidence of dark-cutting longissimus muscle of sheep. *Journal of Animal Science*, 73: 2295-2307
- Arik, E., Karaca, S. 2017. The effect of some pre-slaughter factors on meat quality of bulls slaughtered in a commercial abattoir in Turkey. *Indian J. Anim. Res.* 51, 557–563.
- Arthington, J.D., Eicher, S.D., Kunkle, W.E., Martin, F.G. 2003. Effect of transportation and commingling on the acute-phase protein response, growth, and feed intake of newly weaned beef calves. *J. Anim. Sci.* 81, 1120–1125
- Bartoň L., Bureš D., Kudrna V. 2010. Meat quality and fatty acid profile of the musculus *longissimus lumborum* in Czech Fleckvieh, Charolais and Charolais × Czech Fleckvieh bulls fed different types of silages. *Czech Journal of Animal Science*, 55, 479–487
- Bartos, L., C. France, D. Rehak, and L. Stipkova. 1993. A practical method to prevent dark cutting (DFD) in beef. *Meat Sci.* 34:275-282.

- Beede D.K., Collier R.J. 1986. Potential nutritional strategies for intensive- ly managed cattle during thermal stress. *J. Anim. Sci.* 62(2): 543–554. <https://doi.org/10.2527/jas1986.622543x>
- Briggs, R. and Rood, K. A. 2003. Heat Stress and Reproduction in Beef Cattle. 72.
- Bureš D., Bartoň L., Zahrádková R., Teslík V., Krejčová M. 2006. Chemical composition, sensory characteristics, and fatty acid profile of muscle from Aberdeen Angus, Charolais, Simmental, and Hereford bulls. *Czech Journal of Animal Science* 51 (7), 279-284.
- Bureš, D., and L. Barton. Growth performance, carcass traits and meat quality of bulls and heifers slaughtered at different ages. *Czech J. Anim. Sci.* 2012, 57, 34–43. doi:10.17221/5482-cjas.
- Cabrero, M. 1991. *Bovis* 38: 9-37
- Capper, C. 2001. The language of forensic medicine: the meaning of some terms explained. *Medicine Science Law*, 41, 256–259.
- Casellas, N. M. 2008. Management and feeding strategies in young Holstein bulls fed high-concentrate diets. Univ. Barcelona.
- Castañeda, R.; Peñuela, L. 2010. Ácidos Grasos En La Carne Bovina: Confinamiento vs. Pastoreo. *Prod. Anim.* 2:2–4.
- Chambaz, A., Scheeder, M.R.L., Kreuzer, M., Dufey, P.A. 2003. Meat quality of Angus, Simmental, Charolais and Limousin steers compared at the same intramuscular fat content. *Meat Sci* 63, 491-500
- Chauhan, S.S., Celi, P., Leury, B.J., Clarke, I.J., Dunshea, F.R. 2015. Errata. *J Anim Sci* 93(3):1418. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-7714.er>
- Clinquart, A., M. P. Ellies-Oury, J. F. Hocquette, L. Guillier, V. Santé-Lhoutellier, and S. Prache. 2022. Review: On-farm and processing factors affecting bovine carcass and meat quality. *Animal*. 16:100426. doi:10.1016/j.animal.2021.100426.

- Costa, F.O., Brito, G., Soares de Lima, J.M., Sant'Anna, A.C., Paranhos da Costa, M.J.R., del Campo, M. 2019. Lairage time effect on meat quality in Hereford steers in rangeland conditions. *Rev. Bras. Zootec.* 48, e20180020.
- Craig, H.B., Blumer, T.N., Smart, W.W.G. y Wise, M.B. 1966. *J. Anim. Sci.* 25: 1128-1137
- Cockram, M. 2007. Criteria and potential reasons for maximum journey times for farm animals destined for slaughter. *Applied Animal Behaviour Science - APPL ANIM BEHAV SCI.* 106. 234-243. 10.1016/j.applanim.2007.01.006.
- Daza, A., A. I. Rey, C. Lopez-Carrasco, and C. J. Lopez-Bote. 2014. Influence of feeding system on growth performance, carcass characteristics and meat and fat quality of Avileña-Negra Ibérica calves' breed. *Spanish J. Agric. Res.* 12:409–418. doi:10.5424/sjar/2014122-4096.
- De Nardi, R., Marchesini, G., Li, S., Khafipour, E., Plaizier, J.C., Giancesella, M., Ricci, R., Andrihrtto, I., Segato, S. 2016. Metagenomic analysis of rumen microbial population in dairy heifers fed a high grain diet supplemented with dicarboxylic acids or polyphenols. *BMC Vet. Res* 12, 29.
- Devant, M., Penner, G.B., Martí, S., Quintana, B., Fábregas, F., Bach, A., Arís, A. 2016. Behavior and inflammation of the rumen and cecum in Holstein bulls fed high-concentrate diets with different concentrate presentation forms with or without straw supplementation. *J. Anim. Sci.* 94, 3902–3917. <http://dx.doi.org/10.2527/jas.2016-0594>.
- Díaz, M.T., Vieira, C., Pérez, C., Lauzurica, S., Gonzáles de Chávarri, E., Sánchez, M., de la Fuente, J. 2014. Effect of lairage time (0 h, 3 h, 6 h or 12 h) on glycogen content and meat quality parameters in suckling lambs. *Meat Sci.* 96, 653–660.
- EFSA AHAW Panel (EFSA Panel on Animal Health and Welfare), Nielsen, SS, Alvarez, J, Bicout, DJ, Calistri, P, Canali, E, Drewe, JA, Garin-Bastuji, B, Gonzales Rojas, JL, Gortázar Schmidt, C, Michel, V, Miranda Chueca, MA, Padalino, B, Pasquali, P, Roberts, HC, Spoolder, H, Stahl, K, Velarde, A, Viltrop, A, Winckler, C, Earley, B, Edwards, S, Faucitano, L, Martí, S, de La Lama, GCM, Costa, LN, Thomsen, PT, Ashe, S, Mur, L,

- Van der Stede, Y and Herskin, M, 2022. Welfare of cattle during transport. *EFSA Journal* 2022; 20(9):7442, 121 pp. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2022.7442>
- Estévez, M. 2015. Oxidative damage to poultry: From farm to fork. *Poultry Science*, 94(6), 1368–1378.
- Eurostat. 2022. Production of meat: cattle. Disponible online: <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tag00044/default/table?lang=en>
- Faucitano, L. 2001. Causes of skin damage to pig carcasses. *Canadian Journal of Animal Science*, 81,39–45
- Ferguson, D. M., and R. D. Warner. 2008. Have we underestimated the impact of pre-slaughter stress on meat quality in ruminants? *Meat Sci.* 80:12–19.
- Food Standards Agency. 2012. Meat production. <https://www.gov.uk/guidance/meat-and-meat-hygiene/> Accessed 15 March 2017.
- Gallo, C., Lizondo, G., Knowles, T.G. 2003. Effects of journey and lairage time on steers transported to slaughter in Chile. *Vet. Rec.* 152, 361–364.
- Gardner, G. E., Jacob, R. H., & Pethick, D. W. 2001. The effect of magnesium oxide supplementation on muscle glycogen metabolism before and after exercise and at slaughter in sheep. *Australian Journal of Agricultural Research*, 52, 723–729.
- Grandin, T. 1996. Factors which impede animal movement in slaughter plants. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 209, 757–759.
- Greenwood, P. L. 2021. Review: An overview of beef production from pasture and feedlot globally, as demand for beef and the need for sustainable practices increase. *Animal*. 15:100295. doi:10.1016/j.animal.2021.100295.
- Gregory, N. G. 2003. *Animal welfare and meat science*. USA: CABI Publishing, 64–92
- Grigor, P.N., Cockram, M.S., Steele, W.B., McIntyre, J., Williams, C.L., Leushuis, I.E., van Reenen, C.G. 2004. A comparison of the welfare and meat quality of veal calves slaughtered on the farm with those subjected to transportation and lairage. *Livest. Prod. Sci.* 91, 219–228

- Hambrecht, E., J. Eissen, D. Newman, C. Smits, M. Verstegen, and L. Den Hartog. 2005. Pre-slaughter handling effects on pork quality and glycolytic potential in two muscles differing in fiber type composition. *Journal of Animal Science*, 83: 900-907.
- Hoffman, D., M. Spire, J. Schwenke, and J. Unruh. 1998. Effect of source of cattle and distance transported to a commercial slaughter facility on carcass bruises in mature beef cows. *Journal of American Veterinary Medicine Association*, 212: 668-672.
- Hogan, J.P., Petherick, J.C., Phillips, C.J.C. 2007. The physiological and metabolic impacts on sheep and cattle of feed and water deprivation before and during transport. *Nutr. Res. Rev.* 20, 17–28.
- Holt, S. M., J. B. Gaughan, and T. L. Mader. 2004. Feeding strategies for grain-fed cattle in a hot environment. *J. Agric. Res.* 55:719–725
- Honkavaara, M., E. Rintasalo, J. Ylonen, and T. Pudas. 2003. Meat quality and transport stress of cattle. *Deutsche Tierärztliche Wochenschrift*, 110: 125-128.
- Hopkins, D. L., & Thompson, J. M. 2002. Factors contributing to proteolysis and disruption of myofibrillar protein and the impact on tenderisation in beef and sheep meat. *Australian Journal of Agricultural Research*, 53, 149–166.
- Huertas, S.M., Gil, A.D., Piaggio, J.M., van Eerdenburg, F.J.C.M. 2010. Transportation of beef cattle to slaughterhouse and how this relates to animal welfare and carcass bruising in an extensive production system. *Anim. Welf.* 19, 281–285.
- Hughes, J. M.; Clarke, F. M.; Purslow, P. P.; Warner R. D. 2020. Meat color is determined not only by chromatic heme pigments but also by the physical structure and achromatic light scattering properties of the muscle. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 19, 44–63. doi:10.1111/1541-4337.12509.
- Hynd, P.I., 2014. Growing and finishing beef cattle at pasture and in feedlot. In: Cottle, D., Khan, L. (Eds.), *Beef cattle production and trade*. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia, 381–400.

- Immonen, K., & Puolanne, E. 2000. Variation of residual glycogen– glucose concentration at ultimate pH values below 5.75. *Meat Science*, 55, 279–283
- Irshad, A., Kandeepan, G., Sanjay, K., Arvind, K., Ashish, K., Vishnuraj, M.R., Vivek, S. 2013. Factors influencing carcass composition of livestock. *Journal of Animal Production Advances* 3, 1. <https://doi.org/10.5455/japa.20130531093231>.
- Jarvis, A. M., D. W. J. Harrington, and M. S. Cockram. 1996. Effect of source and lairage on some behavioural and biochemical measurements of feed restriction and dehydration in cattle at a slaughterhouse. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 50:83–94. doi:10.1016/0168-1591(96)01070-2.
- Jones, S.D.M., Schaefer, A.L., Robertson, W.M., Vincent, B.C. 1990. The effects of withhooding feed and water on carcass and meat quality in beef cattle. *Meat Sci.* 28, 131–139.
- Kannan, G. and Mench, J.A. 1996. Influence of different handling methods and crating periods on plasma corticosterone concentrations in broilers. *British Poultry Science* 37, 21–31.
- Kannan, G., Chawan, C. B., Kouakou, B., & Gelaye, B. 2002. Influence of packaging method and storage time on shear value and mechanical strength of intramuscular connective tissue of chevon. *Journal of Animal Science*, 80, 2383–2389.
- Keane M.G., Allen P. 1998. Effects of production system intensity on performance, carcass composition and meat quality of beef cattle. *Livest Prod Sci* 56: 203-214
- Kenny, F.J., Tarrant, P.V. 1987. The physiological and behavioural responses of crossbred Friesian steers to short-haul transport by road. *Livest. Prod. Sci.* 17, 63
- Knowles, T. G. 1999. A review of the road transport of cattle. *Vet. Rec.*, 144, 197-201.
- Kreikemeier, K., J. Unruh, and T. Eck. 1998. Factors affecting the occurrence of dark-cutting beef and selected carcass traits in finished beef cattle. *Journal of Animal Science*, 76: 388-395.

- Lee Y. B., Hargus G. L., Hagberg E. C., & Forsythe R. H. 1976. Effect of antemortem environmental temperatures on post-mortem glycolysis and tenderness in excised breast muscle. *Journal of Food Science*, 41, 1466–1469.
- Leheska J.M. Thompson L.D., Howe J.C., Hentges E., Boyce J., Brooks J.C., Shriver, B., Hoover, L., Miller, M.F. 2008. Effects of conventional and grass-feeding systems on the nutrient composition of beef. *J Anim Sci* 86: 3575-3585.
- Lensink B.J., Fernandez X., Cozzi G., Florand L. and Veissier I. 2001. The influence of farmers' behavior on calves' reactions to transport and quality of veal meat. *Journal of Animal Science* 79, 642–652.
- Liotta, L., Costam, L.N., Chiofalo, B., Ravarotto, L., Chiofalo, V., 2007. Effect of lairage duration on some blood constituents and beef quality in bulls after long journey. *Ital. J. Anim. Sci.* 6, 375–384.
- Liste, G., Miranda-de la Lama, G.G., Campo, M.M., Villaroel, M., Muela, E., María, G.A., 2011. Effect of lairage on lamb welfare and meat quality. *Anim. Prod. Sci.* 51, 952–958.
- Lonergan, S.M., Topel, D.G., Marple, D.N., 2019. Intrinsic cues of fresh meat quality. (Eds.), *Science of Animal Growth and Meat Technology*. 2nd ed. Academic Press Ltd-Elsevier Science Ltd, London, UK, pp. 147–162.
- Mach, N., Bach, A., Velarde, A., and Devant, M. 2008. Association between animal, transportation, slaughterhouse practices, and meat pH in beef. *Meat Sci.* 78:232–238. doi:10.1016/j.meatsci.2007.06.021.
- Mader, T. L., M. S. Davis, and T. Brown-Brandl. 2006. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 84: 712-719.
- Mader, T. L., S. M. Holt, G. L. Hahn, M. S. Davis, and D. E. Spiers. 2002. Feeding strategies for managing heat load in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 80:2373–2382
- Magrin L., Brscic M., Lora I., Rumor C., Tondello L., Cozzi G. and Gottardo F. 2016. Effect of a ceiling fan ventilation system on finishing young bulls' health, behaviour and growth performance. *Animal* 11, 1084–1092.

- Mancini, R. A., and M. C. Hunt. 2005. Current research in meat color. *Meat Sci.* 71:100–121
- Meynier, A., & Mottram, D.S. 1995. The effect of pH on the formation of volatile compounds in meat-related model systems. *Food Chemistry*, 52, 361-366.
- Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. 2019. Estudio del Sector Español de Cebo de Vacuno. Datos SITRAN. 1–40. Available from: <http://publicacionesoficiales.boe.es/>
- Modzelewska-Kapituła M, Nogalski Z. 2014. Effect of gender on collagen profile and tenderness of infraspinatus and semimembranosus muscles of Polish Holstein-Friesian x limousine crossbred cattle. *Livest Sci.*, 167, 417–424.
- Monin, G. 1991. Facteurs biologiques des qualités de la viande bovine. *INRA Productions Animales* 4, 151–160
- Morignat, E., E. Gay, J. L. Vinard, D. Calavas, and V. Hénaux. 2015. Quantifying the influence of ambient temperature on dairy and beef cattle mortality in France from a time-series analysis. *Environ. Res.* 140:524–534. doi:10.1016/j.envres.2015.05.001. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2015.05.001>
- Mounier, L., H. Dubroeuq, S. Andanson, and I. Veissier. 2006. Variations in meat pH of beef bulls in relation to conditions of transfer to slaughter and previous history of the animals. *Journal of Animal Science*, 84: 1567-1576.
- Ngoka, D. A., & Froning, G. W. 1982. Effect of free struggle and preslaughter excitement on colour of turkey breast meat muscles. *Poultry Science*, 61, 2291–2293.
- Nijdam E., Delezie E., Lambooij E., Nabuurs M.J., Decuypere E. and Stegeman J.A. 2005. Feed withdrawal of broilers before transport changes plasma hormone and metabolite concentrations. *Poultry Science* 84, 1146–1152.
- Nockels, C. F., Odde, K. G., & Craig, A. M. 1996. Vitamin E supplementation and stress affect tissue alpha-tocopherol content of beef heifers. *Journal of Animal Science*, 74, 672–677.
- Pethick, D.W., Barendse, W., Hocquette, J.F., Thompson, J., Wang, Y.H. 2007. Regulation of marbling and body composition – growth and development, gene markers and

- nutritional biochemistry. In: Proceedings of the 2nd International Symposium on Energy and Protein Metabolism and Nutrition, 9-13 September 2007, Vichy, France, pp. 75–88.
- Pipek, P., A. Haberl, and J. Jeleniková. 2003. Influence of slaughterhouse handling on the quality of beef carcasses. *Czech Journal of Animal Science*, 9: 371-378.
- Plaizier, J.C., Krause, D.O., Gozho, G.N., McBride, B.W. 2009. Subacute ruminal acidosis in dairy cows: the physiological causes, incidence and consequences. *Vet. J.* 176, 21–31.
- Priolo A, Micol D, Agabriel J. 2001. Effects of grass feeding systems on ruminant meat colour and flavour. A review. *Anim Res.*, 50:185-200. <https://doi.org/10.1051/animres:2001125>
- Raes K., Balcaena A., Dirinckb P., De Winneb A., Claeysa E., Demeyera D., De Smet S. 2003. Meat quality, fatty acid composition and flavour analysis in Belgian retail beef. *Meat Science* 65, 1237-1246.
- Rotta PP, do Prado RM, do Prado IN, Valero MV, Visentaine JV, Silva RR. 2009. The effects of genetic groups, nutrition, finishing systems and gender of Brazilian cattle on carcass characteristics and beef composition and appearance: a review. *Asian- Australas J Anim Sci.*, 22:1718-34. <https://doi.org/10.5713/ajas.2009.90071>
- Salvati, G.G., Morais, J.N.N., Melo, A.C., Vilela, R.R., Cardoso, F.F., Aronovich, M., Pereira, R.A.N., Pereira, M.N. 2015. Response of lactating cows to live yeast supplementation during summer. *J. Dairy Sci* 98, 4062–4073.
- Sami A.S., Augustini, C., Schwarz, F.J. 2004. Effects of feeding intensity and time on feed on performance, carcass characteristics and meat quality of Simmental bulls, *Meat Science*, 67-2, 195-201, <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2003.10.006>.
- SCAHAW. 1999. Scientific Committee on Animal Health and Animal Welfare Standards for the microclimate inside animal transport road vehicles. 8 December 1999. Sanco/B3/AW/R13/1999. http://europa.eu.int/comm/food/fs/sc/scah/out35_en.html
- SCAHAW. 2001. The welfare of cattle kept for beef production. Sanco.C.2/AH/ R22/2000. http://europa.eu.int/comm/food/fs/aw/aw/_scahaw_en.html.

- Schaefer A.L., Jones S.D.M., Tong A.K.W., Young B.A. 1990. Effects of transport and electrolyte supplementation on ion concentrations, carcass yield and quality in bulls. *Can J. Anim. Sci.* 70(1):107–119. DOI. <https://doi.org/10.4141/cjas90-012>
- Schaefer, A.L., Jones, S. and Stanley, R. 1997. The use of electrolyte solutions for reducing transport stress. *Journal of Animal Science*, 75: 258-265.
- Shiao, T.F., J.C. Chen, D.W. Yang, S.N. Lee, C.F. Lee, and W.T.K. Cheng. 2011. Feasibility assessment of a tunnel-ventilated, water-padded barn on alleviation of heat stress for lactating Hol- stein cows in a humid area. *J. Dairy Sci.* 94:5393–5404.
- Shorthose WR, JR Wythes. 1988. Transport of sheep and cattle. 24st ICOMST, p. 122.
- Silva, J. A., L. Patarata, and C. Martins. 1999. Influence of ultimate pH on bovine meat tenderness during ageing. *Meat Science*, 52: 453-459
- Sitran. 2022. Ganaderas, P., and M. Agrarios. Informe sobre Caracterización del Sector Vacuno de Carne en España.
- Soriani N., Panella G., Calamari L. 2013. Rumination time during the summer season and its relationships with metabolic conditions and milk production. *J Dairy Sci* 96:5082–5094
- Strzyżewski T, Bilska A, Krysztofiak K. 2008. Correlation between pH value of meat and its colour. *Nauka Przyr Technol*; 2:12.
- Subsecretaría de Agricultura, P. y A. 2022. Renta Agraria 2021. Minist. Agric. Pesca y Aliment. Available from: <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temasPublicaciónelaboradaporlahttps://cpage.mpr.gob.es/>
- Van de Water, G., Verjans, F., & Geers, R. 2003. The effect of short distance transport under commercial. *Livestock Production Science*, 82(2-3), 171-179
- Venkata Reddy, B., Sivakumar, A. S., Jeong, D. W., Woo, Y. B., Park, S. J., Lee, S. Y., Hwang, I. 2014. Beef quality traits of heifer in comparison with steer, bull and cow at various feeding environments. *Animal Science Journal*, 86(1), 1–16. <https://doi.org/10.1111/asj.12266>

- Viljoen, H. F., de Kock, H. L., & Webb, E. C. 2002. Consumer acceptability of dark, firm and dry (DFD) and normal pH beef steaks. *Meat Science*, 61(2), 181–185.
- Vitali, A., M.Segnalini, L.Bertocchi, U.Bernabucci, A.Nardone, and N.Lacetera. 2009. Seasonal pattern of mortality and relationships between mortality and temperature-humidity index in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 92:3781–3790. doi: 10.3168/jds.2009-2127
- Von Borell E. and Schaffer D. 2005. Legal requirements and assessment of stress and welfare during transportation and pre-slaughter handling of pigs. *Livestock Production Science* 97, 81–87.
- Warner R.D., Bond J.J., Kerr M.G. 2000. Meat quality traits in lamb m. *longissimus thoracis et lumborum*: the effect of pre-slaughter stress and electrical stimulation. In ‘Proceedings 46th International Congress of Meat Science and Technology’. Buenos Aires, Argentina. (ICoMST)
- Warner, R.D., Ferguson, D. M., McDonagh, M.B., Channon, H.A., Cottrell, J.J., & Dunshea, F.R. 2005. Acute exercise stress and electrical stimulation influence the consumer perception of sheep meat eating quality and objective quality traits. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 45, 553–560
- Warriss, P. D. 2003. Optimal lairage times and conditions for slaughter pigs: A review. *Vet. Rec.* 153:170–176. doi:10.1136/vr.153.6.170.
- Warriss, P.D., Kestin, S.C., Brown, N.S., Wilkins, L.J., 1984. The time required for recovery from mixing stress in young bulls and the prevention of dark cutting beef. *Meat Sci.* 10, 53–68.
- Wechsler, B. 2011. Floor quality and space allowance in intensive beef production: a review. *Animal Welfare* 20, 497–503.
- Weglarczyk, A. 2010. Quality of beef from semi-intensively fattened heifers and bulls. *Anim. Sci. Pap. Reports.* 28:207–218.

- Wulf, D. M., Emmett, R. S., Leheska, J. M., & Moeller, S. J. 2002. Relationships among glycolytic potential, dark cutting (dark, firm, and dry) beef, and cooked beef palatability. *Journal of Animal Science*, 80, 1895–1903.
- Wulf, D. M. Tatum, J. D., Green, R. D., Morgan, J. B., Golden, B. L., Smith, G. C. 1996. Genetic influences on beef longissimus palatability in Charolais- and Limousin-sired steers and heifers, *Journal of Animal Science*, Volume 74, Issue 10, Pages 2394–2405, <https://doi.org/10.2527/1996.74102394x>
- Xiong, Y. L. 2000. Protein oxidation and implications for muscle foods quality. In E. A. Decker, C. Faustman, & C. J. Lopez-Bote (Eds.), *Antioxidants in muscle foods: Nutritional strategies to improve quality*, 85–111. New York, NY: Wiley.
- Zea, J. 2005. Alimentación y calidad de carne en terneros. XXI Curso Espec. FEDNA. 83–109. Available from: https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/zea_2005_tcm30-103923.pdf
- Zea, J., Diaz, M^a d. Y Cabrero, M. 1999. Pastos XXIX: 217-228.
- Zhang, Wangang & Xiao, Shan & Ahn, Dong Uk. 2013. Protein Oxidation: Basic Principles and Implications for Meat Quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 53. 1191-1201. 10.1080/10408398.2011.577540.

CAPITULO II

Objetivos



1. Objetivo General

Identificar los factores que inciden en el estrés de los terneros de engorde los cuales están íntimamente relacionados con la calidad de la canal y la carne, a fin de definir estrategias de mejora a nivel de granja, transporte y sacrificio de dentro de un sistema de producción intensivo.

2. Objetivos Específicos

- Caracterizar tres diferentes sistemas de producción vacuno de engorde en un sistema de producción intensivo mediterráneos criados simultáneamente en las mismas condiciones de alojamiento y cuidado, los cuales difieren en sexo, raza, nutrición y días de alimentación, con el fin de describir su rendimiento, comportamiento y calidad de la canal y la carne (Estudio 1).
- Evaluar el efecto de ventiladores de techo sobre el comportamiento, parámetros productivos, y calidad de canal y carne en terneros de engorde en la fase de acabado en un sistema de producción intensivo durante los meses de verano, con el fin de implementar estrategias de manejo para reducir el estrés por calor previo al sacrificio (Estudio 2)
- Evaluar el efecto de tiempo de espera en matadero en transportes cortos (~ 3 h) y largos (~ 10 h) de terneros de engorde sobre el comportamiento, parámetros fisiológicos y calidad de canal y de carne, con el fin de identificar factores que inciden en la aparición de carnes oscuras duras y secas, y de petequias en la canal (Estudio 3).

CAPITULO III

Characterization of three different mediterranean beef fattening systems: performance, behavior, and carcass and meat quality

Animals 2022, <https://doi.org/10.3390/ani12151960>



SUMMARY

Beef fattening systems present a large diversity according to the effect of the type (genetics and gender) of animals fattened, the nutrition programs, the housing conditions, and days on feed, resulting in different carcass traits and meat qualities. New beef fattening systems are arising in Mediterranean countries raising crossbred Angus bulls seeking new marketing opportunities. One of the strengths of the present study is that all animals of the three compared different production systems, two conventional (crossbred heifers, Holstein bulls) and one innovative (crossbred Angus bulls), were raised following their own commercial program (days on feed, nutrition) under the same housing, care, and weather conditions. Furthermore, the carcass and meat quality parameters were analyzed by using a common methodology. With this experimental design, potential factors like the housing conditions or the methodology used to analyze carcass and meat quality (aging time, cooling temperatures, lab equipment) did not interfere in data interpretation. The results indicated that fattening crossbred Angus bulls is suitable in an intensive fattening program but technical data (performance, meat quality or consumer preferences) do not support it as a better alternative to the current Holstein bull production.

ABSTRACT

The aim of this study was to characterize three different commercial dairy beef fattening systems for intensive Mediterranean fattening programs differing in gender, breed, nutrition, and days of feed in order to describe their performance, behavior, and carcass and meat quality when they were raised simultaneously under the same housing and care conditions. Treatments were three different production systems: (1) crossbred Holstein x beef breeds such as Charolais or Limousine heifers, slaughtered at 10 months of age (CBH10, $n = 41$); (2) Holstein bulls, slaughtered at 11 months of age (HB11, $n = 42$); and (3) crossbred Holstein x Angus bulls, slaughtered at 12 months of age (CAB12, $n = 37$). According to our results, moving from a production system based on Holstein bulls to the crossbred Angus production system has no technical support as no large production and meat quality improvements were observed, and only marketing strategies for meat differentiation and consumer trends could favor this decision.

Keywords: beef cattle; Angus bulls; growth rate; carcass; crossbred Holstein

1. Introduction

Beef fattening systems differ widely among European Union countries, with a large diversity in the type (genetics and gender) of animals fattened, in the nutrition programs, in the housing conditions, and in the days on feed, resulting in different carcass traits and meat qualities (Hocquette et al., 2018; Clinquart et al., 2022). These beef fattening systems can range from extensive systems in Ireland to very intensive systems in Italy (Savoia et al., 2019; Serrapica et al., 2021). In Spain, the beef fattening system is traditionally an intensive system where calves are housed during the fattening period, commonly in partially open barns with straw bedding (Albertí et al., 2008; Devant et al., 2016). Briefly, 30% of the animals fattened are females (mainly crossbred) and from the remaining 70% of males, 30% are Holstein calves (Sitran, 2019). Dairy calves (dairy beef system) account for 40% of the fattened calves, and these calves are fed ad libitum concentrate from very young ages (before the weaning period) (Sitran, 2019). In this dairy beef fattening system, commercially, crossbred females are fattened for shorter periods of time (slaughtered around 10 months of age) to avoid the decrease in feed efficiency (Bureš y Barton, 2012). Commonly, these crossbred females are fed the same fattening concentrate with a moderate energy content during the growing and finishing periods (Albertí et al., 2008). Holstein bulls are usually slaughtered later, before 12 months of age, as the decline of the efficiency with age takes place later compared with the crossbred females. These males are traditionally fed a growing concentrate with moderate energy content until 9–10 months of age and a finishing concentrate with a greater energy content until slaughter (Mach et al., 2009). The carcass and meat quality of females and males differ; bulls are sexually more active and more susceptible to suffering pre-slaughter stressors (handling, transportation, lairage) than heifers, and the meat of their carcasses is more prone to become DFD (dark, firm, and dry) (Monin, 1991) than females. In addition, heifer meat has greater intramuscular fat and is more tender than bull meat (Modzelewska-Kapituła y Nogalski, 2014, Venkata, 2015). Recently, in Mediterranean countries, raising crossbred Angus bulls in the dairy beef fattening system has been suggested as a new marketing opportunity. The expectations (hypotheses) are that these crossbred Angus animals would perform close to the Holstein males in terms of growth and close to

crossbred females in terms of meat quality (Sinclair et al., 2001). However, there is a lack of data describing crossbred Angus raised in intensive production systems, where calves are fed high-concentrate diets from very young ages as is usual in Mediterranean production systems. Moreover, it is difficult to analyze and compare different production systems as they are the result of a combination of type of animal (breed, gender) and housing, management, nutrition programs (days on feed), and carcass and meat handling procedures (Clinquart et al., 2022). Therefore, one of the strengths of the present study is the comparison of three different beef production systems following their own commercial fattening program (days on feed, nutrition) and raising animals under the same housing, care, and weather conditions; moreover, carcass and meat quality parameters were analyzed with the same methodology. The aim of this study was to characterize three different commercial beef fattening systems in intensive Mediterranean fattening programs differing by gender, breed, nutrition, and days on feed and to describe their performance, behavior, and carcass and meat quality when raised simultaneously under the same housing and care conditions. Data generated from this study are the first step for decision making and offer technical information to consider whether raising crossbred Angus bulls can be a good alternative to Holstein bulls in a Mediterranean dairy beef fattening system.

2. Materials and Methods

2.1. Experimental Design, Animals, Housing, and Diets

Animals were reared in a commercial farm of Agropecuària Montgai S.L. (Montgai, Spain) and were managed following the principles and guidelines from the Animal Care Committee of the Institute for Research and Technology in Agrifood (IRTA, Caldes de Montbui, Spain). This study was conducted in accordance with the Spanish guidelines for experimental animal protection (Royal Decree 53/2013 of 1 February on the protection of animals used for experimentation or other scientific purposes; Boletín Oficial del Estado, 2013).

The experiment was designed as a randomized, balanced design with covariance adjustment with 3 treatments. Pen was the experimental unit and animals were the

sampling units. Treatments were the three different production systems: (1) crossbred Holstein x beef breeds such as Charolais or Limousine heifers, slaughtered at 10 months of age (CBH10); (2) Holstein bulls, slaughtered at 11 months of age (HB11); and (3) crossbred Holstein x Angus bulls, slaughtered at 12 months of age (CAB12). A total of 41 crossbred heifers (CBH10; 165 ± 24.8 kg BW and 141 ± 12.6 d age), 42 Holstein bulls (HB11; 176 ± 18.7 kg BW and 142 ± 4.2 d age) and 37 Angus crossbred bulls (CAB12; 192 ± 52.5 kg BW and 154 ± 34.0 d age) were used to evaluate 3 different production systems and their potential effects on performance, animal behavior, and carcass and meat quality. At arrival, animals belonging to each production system (treatment) were weighed and distributed in pens to equalize initial BW among pens, and then pens were randomly allocated to the 3 treatments (2 pens/treatment; 18–21 animals/pen). Thereafter, animals were weighed at the start of study (d 0) and every 14 d until the end. The CBH10 heifers were slaughtered on d 168 and d 174 of study (BW 425 ± 46.9 kg), HB11 bulls were slaughtered on d 209 and d 216 of study (BW 518 ± 45.7 kg), and CAB12 bulls were slaughtered on d 226 and d 230 of study (BW 554 ± 58.8 kg), simulating commercial criteria in intensive beef fattening in Mediterranean countries.

Animals were allocated in pens (12 m \times 6 m) that were equipped with a single-space feeder (0.50 m long \times 0.26 m wide \times 0.15 m depth) with 10 kg of concentrate capacity, and it was protected by two lateral barriers (1.50 m length \times 0.90 m height) forming a chute. Width of chute was regulated from 0.45 to 0.60 m throughout the study to accommodate the increase in animal size and provide sufficient space to allow only one animal to eat comfortably at a time (Verdú et al., 2017) one water bowl (0.30 m length, 0.30 m width, 0.18 m depth) and straw was offered in a separated straw, five-space feeder (3.00 m length, 1.12 m wide, and 0.65 m depth). Animals were offered concentrate, straw, and water ad libitum. Each concentrate feeder was equipped with a scale that consisted of 4 load cells (Utilicell, Barcelona, Spain), where the feeder was suspended and concentrate contained was continuously weighed, and its weight was displayed by digital screen reader. The scales were calibrated weekly. Every morning, concentrate refusals were recorded as final feed weight of day before; after that, all feeders were automatically refilled via refilling system, and concentrate offers were recorded as initial feed weight

of the current day. All feeders were refilled daily by an auger conveying automated feeding distribution system and had a reservoir with storage capacity of 200 kg of concentrate to ensure continuous feed availability, which was dispensed slowly by gravity fall maintaining a continuous and low level of concentrate in the trough. Concentrate intake was considered as concentrate disappearance from feeder, which referred to both concentrate consumption and wastage without discriminating between them because feed spillage was not measured (Verdú et al., 2017). The amount of straw offered to each pen was recorded weekly to estimate the total amount of straw consumed; however, these data were only an approximation of straw intake because straw was also used for bedding. Before the beginning of the study, animals had a 1-month adaptation period by widening the chute to facilitate feeder access; from then, the width of the chute was adapted to the animal size to allow them to eat easily (Paniagua et al., 2019). Pens were totally covered, i.e., a thick black curtain was installed from the roof to the floor of the barn to avoid eye contact and smelling between heifers and bulls, which could enhance sexual behavior of the bulls. Following commercial feeding practices, heifers (CBH10) were fed the growing concentrate (Table 1) throughout the study, whereas bulls (HB11 and CAB12) were fed the growing concentrate from d 1 to d 168 and the finishing concentrate (Table 1) from d 168 to d 230. Ingredient and nutrient composition from the growing and finishing concentrates (Table 1) were formulated according to FEDNA recommendations (Ferret et al., 2008). Main differences between the growing and finishing concentrates were metabolizable energy, CP, and fat content. Moreover, animals also had access to barley straw (35 g/kg CP, 16 g/kg EE, 796 g/kg NDF, and 61 g/kg ash; DM basis) and fresh water.

2.2. Feed Ingredient Analyses

Feed samples were collected every feed manufacturing for growing and finishing concentrate to analyze dry matter (DM) (method 925.04), ash (method 642.05), crude protein (CP) by the Kjeldahl method (method 988.05) (AOAC, 2005), neutral detergent fiber (NDF) (Van Soest et al., 1991) using sodium sulfite and alpha-amylase, and ether extract EE by Soxhlet with a previous acid hydrolysis (method 920.39; AOAC, 2005).

2.3. Animal Behavior Evaluation

Animal behavior was recorded for general activities (standing, lying, eating, drinking, and ruminating) and social behavior (non-agonistic, agonistic, and sexual interactions) with a visual scan observation of 2 pens at the same time from 8:00 to 10:00 h (Paniagua et al., 2019) for each pen on d 13, 37, 49, 62, 76, 90, 104, 118, 132, 146, 160, 174, 188, 202, and 216, and the last sampling day was 160, 202, or 216 for CBH10, HB11, and CAB12, respectively. General activities were scored using 3 scan samplings of 10 s at 5 min intervals, and social behavior was scored during three continuous sampling periods of 5 min. This scanning procedure of 15 min was repeated twice consecutively in each pen, starting randomly in a different pen every scanning day (Paniagua et al., 2019).

2.3. Measurements and Sample Collection

Animals from CBH10, HB11, and CAB12 were transported to the slaughterhouse (La Closa, Guissona, Spain) by truck between on d 167 and 174, on d 209 to 216, and on d 226 and 230 of study, respectively, following the EU Regulation 1099/2009 using a captive-bolt pistol and dressed according to commercial practices. Animal transport was organized in six different loads without mixing animals of different treatments and pens. Transport distance was less than 35 km. The hot carcass weight (HCW) was recorded and degree of carcass fatness and conformation were graded according to the EU classification system into 1.2.3.4.5 (EU Regulation No. 1208/81) and into (S)EUROP categories (EU Regulation No. 1208/81, 1026/91), respectively. Dressing percentage was calculated dividing the HCW by the final BW. At 24 h post-mortem of carcass chilling at 6.9 °C, pH was measured with a pH meter (pH 25 DL; Crison, Alella, Spain) by penetration of the probe equipped with a xerolyt electrode between the lumbar vertebrae L4 and L5 of the left side of the carcass.

Eighteen samples per treatment (total of 54 carcasses) were selected at random (avoiding the extreme HCW) for meat quality evaluation. At 48 h post-mortem, samples from the central part of the *longissimus thoracis* (LT) from rib 12 to 13 were removed from each carcass and cut in 5 steaks of 2.5 cm. Thereafter, three steaks of 2.5 cm were individually packaged in modified atmosphere (MAP; 70% O₂:30% CO₂) with

polypropylene trays (day 0 of MAP), and the remaining steaks were vacuum-packaged and frozen at $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ until determination of intramuscular fat and tenderness.

Table 1. Ingredient and nutrient composition of the growing and finishing concentrates.

Item	Growing	Finishing
Ingredient, g/kg		
Corn	421	398
Barley	107	149
Wheat middlings	103	67
Wheat	100	99
Corn DDG	120	99
Peas meal		59
Palm kernel	100	80
Palm oil	10	22
Calcium carbonate	18	14
Urea	8	3
Sodium bicarbonate	4	4
White salt	2	2
Vitamin–mineral premix ^{a,b}	3	2
Nutrient, per kg DM		
Metabolizable energy (ME), Mcal/kg	3.18	3.34
CP, g	158	144
Ether extract, g	55	65
Ash, g	54	47
NDF, g	220	198
NFC, g ^c	511	545

^a Premix of the growing concentrate (Montgai, Spain). Vitamins and minerals contained per kg of DM: 3052 kIU of vitamin A, 610 kIU of vitamin D3, 10.2 g of vitamin E, 0.04 g of vitamin K, 10.2 g of vitamin B1, 0.34 g of vitamin B2, 0.04 g of vitamin B6, 0.007 g of vitamin B12, 1.7 g of vitamin B3, 0.2 g of Co, 1.7 g of Cu, 0.2 g of I, 15.3 g of Mn, 0.1 g of Se, 16.7 g of Zn, 200 g of sodium sulfate, 152 g of magnesium oxide, 42.4 g of etoxiquine, 1 kg of barley as excipient. ^b Premix of the finishing concentrate (CAG, Guissona, Spain). Vitamins and minerals contained per kg of DM: 3575 kIU of vitamin A, 858 kIU of vitamin D3, 101 g of vitamin E, 2.3 g of vitamin B1, 0.2 g of Co, 2.5 g of Cu, 0.3 g of I, 15.7 g of Mn, 0.2 g of Se, 20.6 g of Zn, 250 g of magnesium oxide, 75.7 g of etoxiquine, 1 kg of barley as excipient. ^c NFC = nonfiber carbohydrates calculated as $1000 - (\text{CP} + \text{ash} + \text{NDF} + \text{ether extract})$.

2.4. Meat Analyses

The MAP steaks were displayed for 9 d (11 d post-mortem) in an illuminated cooling room ($5 \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$) with a homogeneous fluorescent light (900 lx) activated for 12 h a day. From one steak, instrumental color was evaluated on d 2, 6, and 9 post packaging using a Minolta chromameter (CM600d, Minolta Inc., Osaka, Japan) in the CIE-Lab space (L*: lightness, a*: redness, and b*: yellowness; Commission Internationale de l'Éclairage, 1976) with illuminant D65 and 10° viewing angle. In addition, a group of 3 trained panelists evaluated daily a color perception and purchase decision until d 9 post packaging

from Monday to Friday. The subjective perception of color and purchase decision were recorded using a 5-point scale (Color perception: (1), highly undesirable; (2), moderately undesirable; (3), slightly desirable; (4), moderately desirable; and (5), highly desirable. Purchase decision: (1), would not buy; (2), would probably not buy; (3), buy dubiously; (4), would probably buy; (5), would buy) (AMSA, 1995). Intramuscular fat was analyzed by using near infrared spectroscopy at wavelengths between 850 and 1048 nm (Foodscan; FOSS, Hillerød, Denmark), previously removing subcutaneous fat and connective tissue and homogenizing with a conventional meat grinder. Instrumental tenderness (Warner–Bratzler shear force (WBSF)) was measured using a texturometer (Stable Micro Systems, Godalming, United Kingdom); samples were thawed for 24 h at 2°C and wrapped in aluminum foil and baked at 200 °C until the internal temperature reached 71°C (AMSA, 1995). Cooked steaks were cut into six 1.25 cm diameter cores with a cork borer, parallel to the muscle fiber orientation. The Warner–Bratzler shear blade was perpendicularly oriented to the direction of the fibers (Marti et al., 2011).

2.5. Statistical Analysis

The pen was considered the experimental unit, as the pen was the unit on which all uncontrolled factors were occurring at random. In the case where data were registered individually, the animal was included in the analysis as a sampling unit. A power analysis was conducted to ensure that 2 replicates were appropriate for the statistical power (Marti et al., 2013).

Initial BW, initial age, final BW, days of study, HCW, and dressing percentage data were analyzed using a mixed-effects model (version 9.4, SAS Inst., Inc., Cary, NC, USA), including treatment as a main effect and pen as a random effect. Initial BW was used as a covariate.

Concentrate intake and average daily gain data were analyzed using a mixed-effect model with repeated measures. The model included initial BW as a covariate, treatment, period, and the interaction between the treatment and period as main effects and pen, animal within pen, and the interaction of treatment and pen as random effects. Period was considered a repeated factor, and the pen nested within treatment was subjected to 2

variance–covariance structures: compound symmetry and autoregressive order. The covariance structure that minimized Schwarz’s Bayesian information criterion was considered the most desirable analysis.

In behavior data, due to the lack of normality of the data analyzed in a previous analysis, the non-parametric Kruskal–Wallis test was performed, and then the data were transformed. Percentage of general activities data were transformed into natural logarithm from behavioral performances, and data from social behavior was transformed into root-square to achieve a normal distribution. These data were analyzed with repeated measures, as described above.

Data from carcass conformation and fatness were analyzed with the FREQ procedure of SAS with the χ^2 distribution procedure (version 9.4, SAS Inst., Inc., Cary, NC, USA).

Meat quality data, such as pH ultimate, instrumental color and texture at 48 h, and intramuscular fat, were analyzed using a mixed-effects model (version 9.4, SAS Inst., Inc., Cary, NC, USA), including treatment as a main effect and the pen as a random effect. The variables of evolution of instrumental color, color preference, and purchase decision were analyzed using a mixed model with repeated measures as described above, where temperature of the refrigeration room was included as a covariate, treatment day and their interactions were included as fixed effects, and pen, animal within pen, and the interaction of treatment and pen were included as random effects. Least square mean values were compared with Tukey’s HSD test.

Differences were declared significant at $p < 0.05$, and trends were discussed at $0.05 \leq p \leq 0.10$ for all models.

3. Results

3.1. Performance and Carcass Quality

Performance and carcass quality data are presented in Table 2. During the first 168 days, total concentrate consumption was greater ($p < 0.001$) only in the last period (Figure 1) for CAB12 and HB11 compared with CBH10 (interaction between production system and period, $p < 0.001$). However, during this 168-day period, ADG of CBH10 were less

($p < 0.05$) than HB11 and CAB12 in most of the periods studied (interaction production system and period was $p < 0.05$) as can be observed in Figure 2. Additionally, as a consequence, feed efficiency data were slightly lower in most of periods studied for CBH10 than for HB11 and CAB12 bulls (interaction production system and period were $p < 0.001$; data not shown). When global performance data were analyzed, as the days in the study differed, differences in total concentrate intake, ADG, and final BW and HCW were observed (Table 2). Total intake of CAB12, despite being slaughtered 16 days later, was close to HB11 (Table 2). Final global efficiency did not differ between both beef fattening systems (Table 2). Moreover, the global efficiency did not differ between raising crossbred heifers and slaughtering them at 10 months of age (CBH10) versus the tested bull production systems (HB11 and CAB12). The HCW of CAB12 slaughtered at 382 d of age was 6.4% greater ($p < 0.001$) than that for HB11 slaughtered at 354 d of age, and the HCW of the HB11 was 14.8% greater ($p < 0.001$) than that for CBH10 slaughtered at 311 d of age. When analyzing the global carcass efficiency (carcass yield expressed by total concentrate consumption) of the fattening bulls, both HB11 or CAB12 were 14% less efficient ($p < 0.001$) than the fattening crossbred heifers slaughtered at 10 months of age. Differences were observed in carcass conformation ($p < 0.001$), resulting CAB12 treatment with the best carcass conformation scoring rate (more “U” and “R” scoring percentages), followed by the carcasses of CBH10 heifers, while the carcasses of the HB11 bulls had the poorest conformation carcasses (greatest percentage of carcasses scored as “P”). However, no differences in the dressing percentage or carcass fatness among the production systems were observed.

3.2. Animal Behavior

In Table 3, animal behavior data are presented. A significant interaction ($p < 0.001$) between production system and periods was observed in general activities such as standing, lying, and rumination. Although standing and rumination differed among treatments, both behaviors did not follow a regular pattern, as can be observed in Figure 3a–c. Social behavior of CAB12 was less ($p < 0.05$) than CBH10 and HB11 in period 1, HB11 was less ($p < 0.05$) compared with CBH10 and CAB12 in period 4, and CBH10 was greater ($p < 0.05$) compared with HB11 and CAB12 in period 8 (data not represented

in figures). Among the agonistic and sexual behaviors, the effect of the production system was more regular. Fighting was less ($p < 0.01$) for CBH10 compared with HB11 and CAB12. Displacement of HB11 was greater ($p < 0.05$) compared with CBH10 and CAB12 in period 8 (Figure 3d). Moreover, HB11 was greater ($p < 0.01$) in chasing compared with CBH10 and CAB12. Flehmen, attempt to mount and complete mount, was less ($p < 0.001$) for CBH10 compared with HB11 and CAB12. Finally, CBH10 performed more stereotyped behaviors ($p < 0.001$) compared with CAB12, and the latter performed more stereotyped behaviors than HB11 ($p < 0.001$).

Table 2. Performance and carcass characteristics for the first 168 days and whole study in different Mediterranean beef production systems.

Item	Production System ¹			SEM ²	p-value ³		
	CBH10	HB11	CAB12		Production system	Time	Production system x Time
Numbers of animals	39	42	37	-	-	-	-
Initial age, days	140	141	154	17.2	0.83	-	-
Initial BW, kg	171	172	188	21.4	0.83	-	-
Performance from 0 to 168 d of study							
Concentrate intake, kg/d	6.24	6.49	6.38	0.138	0.45	< 0.001	< 0.001
ADG, kg/d	1.53	1.70	1.70	0.030	< 0.04	< 0.001	0.02
Efficiency, kg/kg	0.25	0.26	0.26	0.010	0.54	< 0.001	< 0.001
Global performance							
Days of study	171 ^c	212 ^b	228 ^a	0.3	< 0.001	-	-
Final age, days	310 ^b	354 ^{ab}	382 ^a	16.3	< 0.01	-	-
Final BW, kg	425 ^c	523 ^b	553 ^a	7.8	< 0.001	-	-
ADG, kg/d	1.53 ^b	1.63 ^a	1.60 ^{ab}	0.027	< 0.05	-	-
Total concentrate consumption, kg	1064 ^b	1437 ^a	1490 ^a	22	< 0.001	-	-
Efficiency, kg/kg	0.24	0.24	0.24	0.003	0.45	-	-
Carcass parameters							
HCW, kg	243 ^c	279 ^b	297 ^a	4.0	< 0.001	-	-
Carcass efficiency, kg/kg	0.22 ^a	0.19 ^b	0.19 ^b	0.003	< 0.001	-	-
Dressing percentage, %	55.6	53.7	54.4	0.58	0.17	-	-
Conformation ⁴ , %					< 0.001		
E	2.6	-	-				
U	23.1	-	32.4				
R	33.3	-	67.6	-			
O	35.9	54.8	-				
P	5.1	45.2	-				
Fatness ⁵ , %					1.00		
1	-	-	-				
2	2.6	2.4	2.7				
3	97.4	97.6	97.3	-			

^{abc} Rows with different superscripts differ ($p < 0.05$).

¹ Treatments CBH10 = crossbred Holstein x beef breeds like Charolais or Limousine heifers slaughtered at 10 months of age; HB11= Holstein bulls slaughtered at 11 months of age, CAB12= crossbred Holstein with Angus bulls slaughtered at 12 months of age.

² SEM= Standard error of the mean.

³ Production system effect; Time = time effect (period of 14 d); Production system x Time = production system by time interaction effect.

⁴ The conformation class designated by the letter “E” (excellent) describes carcasses with all profiles convex to super-convex, and with exceptional muscle development, and the conformation classified as “U” (very good) describes carcasses with profiles on the whole convex, and with very good muscle development. The carcasses classified as “R” (good) present profiles, overall, straight and with good muscle development. Carcasses classified as “O” (fair) present profiles straight to concave and with average muscle development, and carcasses classified as “P” (poor) present all profiles concave to very concave with poor muscle development.

⁵ The carcass fat cover that classifies as 1 (low) describes none to low fat cover, the class of fat cover classified as 3 (very high) describes an entire carcass covered with fat and with heavy fat deposits in the thoracic cavity.

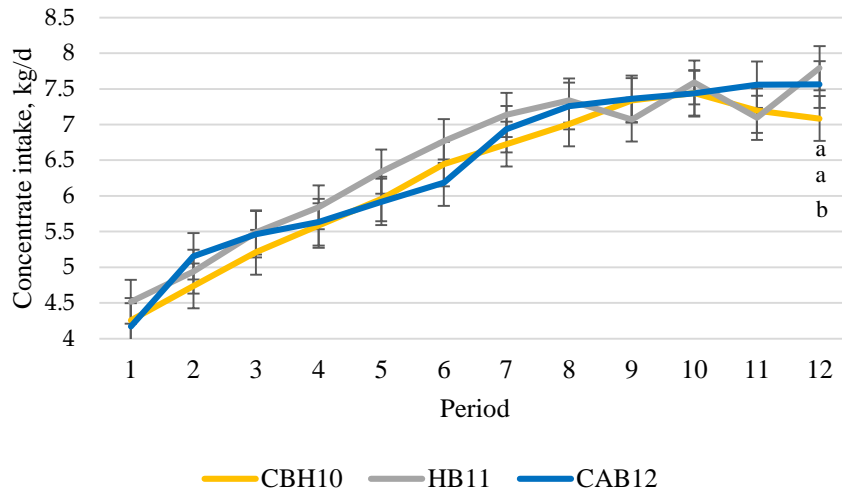


Figure 1. Daily concentrate intake over the time in crossbred Holstein x beef breeds like Charolais or Limousine heifers slaughtered at 10 months of age (CBH10), Holstein bulls slaughtered at 11 months of age (HB11) and crossbred Holstein with Angus bulls slaughtered at 12 months of age (CAB12) (^{a,b} significant differences $P < 0.05$ between production system within the same period).

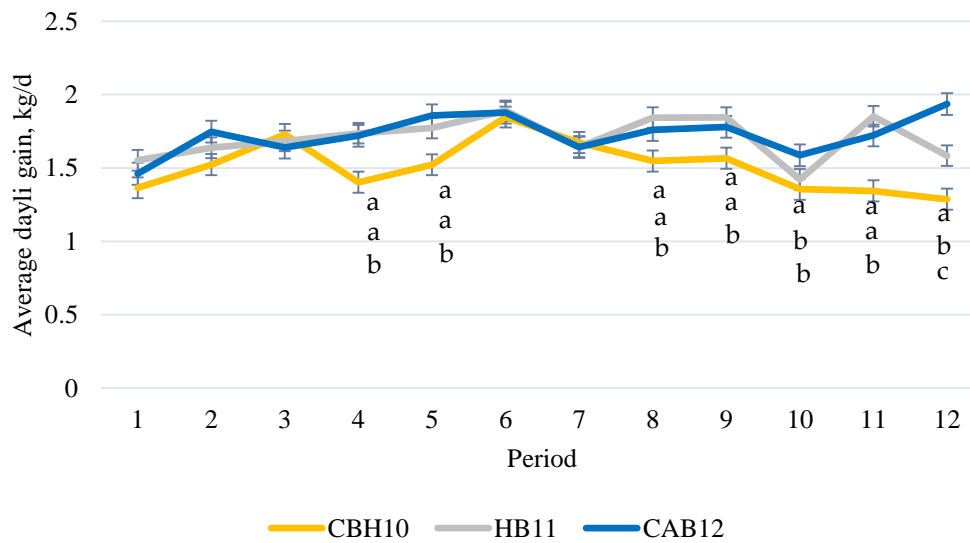


Figure 2. Average daily gain over the time in crossbred Holstein x beef breeds like Charolais or Limousine heifers slaughtered at 10 months of age (CBH10), Holstein bulls slaughtered at 11 months of age (HB11) and crossbred Holstein with Angus bulls slaughtered at 12 months of age (CAB12) (^{a,b,c} significant differences $p < 0.05$ between production system within the same period).

Table 3. Animal behavior for the first 168 days in different Mediterranean beef production systems.

Item	Production System ¹			SEM ²	P-value ³		
	CBH10	HB11	CAB12		Production system	Period	Production system x Period
General activities, %							
Standing	67.7	76.9	77.9	0.85	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Lying	32.3	23.1	22.1	0.85	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Concentrate intake	5.0	4.7	5.3	0.05	< 0.001	0.22	< 0.01
Straw intake	9.7	9.5	12.2	0.89	0.06	< 0.001	< 0.01
Drinking water	1.1	1.7	1.5	0.28	0.32	0.93	0.48
Ruminating	13.8	10.1	10.5	0.31	< 0.001	< 0.01	< 0.01
Behavior, each 15 min							
Self-grooming	16.6	9.9	10.5	0.20	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Social	3.8	2.9	2.7	0.13	0.10	< 0.001	< 0.001
Oral	5.1	6.4	4.8	0.13	0.22	< 0.01	0.52
Fighting	0.7 ^b	2.9 ^a	2.1 ^a	0.21	< 0.01	0.29	0.27
Butting	0.4 ^b	1.3 ^a	1.3 ^a	0.14	0.01	0.92	0.50
Displacement	0.2	0.2	0.2	0.05	0.37	0.03	0.03
Chasing	0.1 ^b	0.6 ^a	0.1 ^b	0.09	< 0.01	< 0.01	0.24
Chasing-up	0.0	0.1	0.0	0.01	0.26	< 0.001	0.12
Flehmen	0.1 ^b	3.3 ^a	2.7 ^a	0.16	< 0.001	< 0.001	0.12
Attempt to mount	0.8 ^b	3.7 ^a	2.2 ^a	0.20	0.03	< 0.001	0.15
Complete mount	0.4 ^b	2.8 ^a	2.3 ^a	0.24	< 0.01	< 0.001	0.98
Stereotype	1.4 ^a	0.1 ^c	0.4 ^b	0.06	< 0.001	< 0.001	0.05

^{a,b,c} Rows with different superscripts differ ($p < 0.05$).¹ Treatments CBH10 = crossbred Holstein x beef breeds like Charolais or Limousine heifers slaughtered at 10 months of age; HB11= Holstein bulls slaughtered at 11 months of age, CAB12= crossbred Holstein with Angus bulls slaughtered at 12 months of age.

² SEM= Standard error of the mean.

³ Production system effect; Period= time effect (period of 14 d); Production system x Period = production system by period interaction effect.

3.3. Meat Quality

Meat pH was greater ($p < 0.001$) for CBH10 and CAB12 compared with HB11 (Table 4). The maximum force and the total area from WBSF were not affected by the production system. Only the slope was significant ($p = 0.03$), but the differences were not relevant. Intramuscular fat had no significant differences between production systems. Lightness (L^*) of CBH10 were greater ($p < 0.001$) compared with HB11 and CAB12 during all the conservation time in MAP on days 2, 6, and 9 post-packaging (Figure 4a). Redness (a^*) of CBH10 was less ($p < 0.05$) than HB11 and CAB12 at 2 and 9 d, and only less than HB11 at 6 d (Figure 4b). Yellowness (b^*) of CBH10 was lower ($p < 0.05$) than HB11 and

CAB12 on day 2, higher than CAB12 on day 6, and lower than HB11 at day 9 (Figure 4c). On days 6 and 9, color perception differed among treatments: CBH10 had a less preferred color ($p < 0.05$) than CAB12, which had a less preferred color than HB11. No differences in color perception by meat from different treatments were found at day 2 (Figure 4d). Similar results were obtained by purchase decision (Figure 4e).

Table 4. Meat pH, shear force, intramuscular fat and evolution of the shelf life parameters (instrumental color, color perception and purchase decision) over the time in MAP of meat of animals raised in different Mediterranean beef production system.

Item	Production System ¹			SEM ²	<i>p</i> -value ³		
	CBH10	HB11	CAB12		Production system	Days	Production system x Day
pH, 24 h	5.7 ^a	5.5 ^b	5.7 ^a	0.01	< 0.001	-	-
WBSF							
Maximum force (kg)	6.6	7.3	6.6	0.38	0.27	-	-
Total area (kg.mm)	69.5	76.9	64.4	5.43	0.27	-	-
Slope (kg.mm)	0.9 ^a	1.0 ^b	1.0 ^b	0.03	0.03	-	-
Intramuscular fat (%)	1.9	1.7	1.7	0.17	0.60	-	-
Instrumental colour ⁴							
L*	36.2	32.3	33.0	0.09	< 0.001	< 0.001	0.03
a*	14.9	16.7	16.9	0.53	< 0.001	< 0.001	< 0.001
b*	15.6	16.2	16.3	0.36	0.03	< 0.001	< 0.001
Color perception ⁵	2.9	4.2	3.5	0.10	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Purchase decision ⁶	2.9	4.3	3.5	0.11	< 0.001	< 0.001	< 0.001

^{ab} Rows with different superscripts differ ($p < 0.05$).

¹ Treatments CBH10 = crossbred Holstein x beef breeds like Charolais or Limousine heifers slaughtered at 10 months of age; HB11= Holstein bulls slaughtered at 11 months of age, CAB12= crossbred Holstein with Angus bulls slaughtered at 12 months of age.

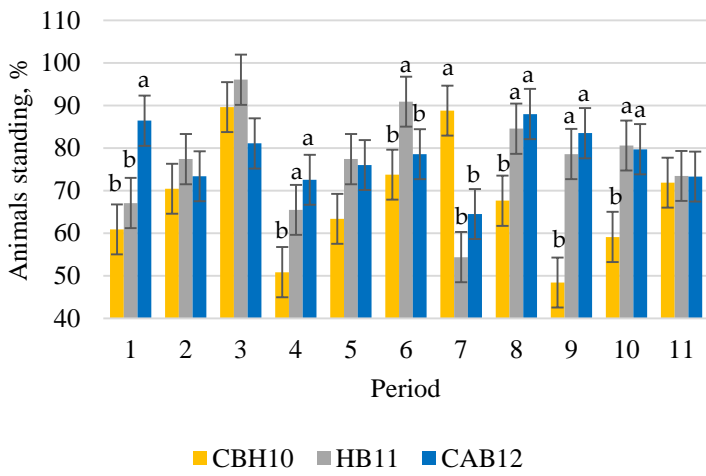
² SEM= Standard error of the mean:

³ Production system effect; Day = time effect (2, 6 and 9 d after packaging in MAP); Production system x Day = production system by time interaction effect.

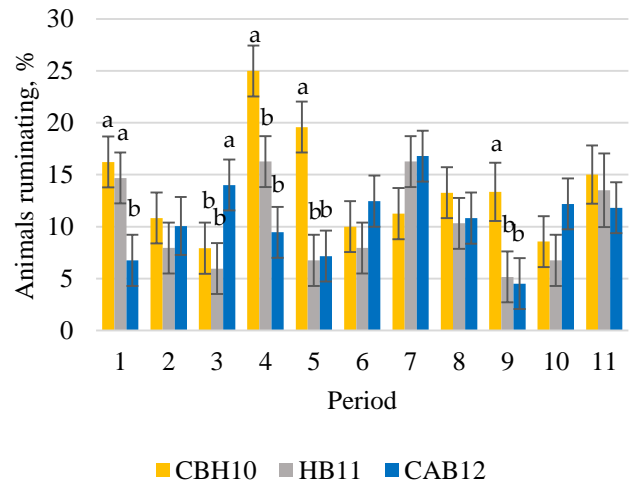
⁴ Instrumental color: L*= lightness, a*= redness, and b*= yellowness.

⁵ 5-point scale: color perception: 1= highly undesirable, 2= moderate undesirable, 3= slightly desirable, 4= moderately desirable and 5= highly desirable.

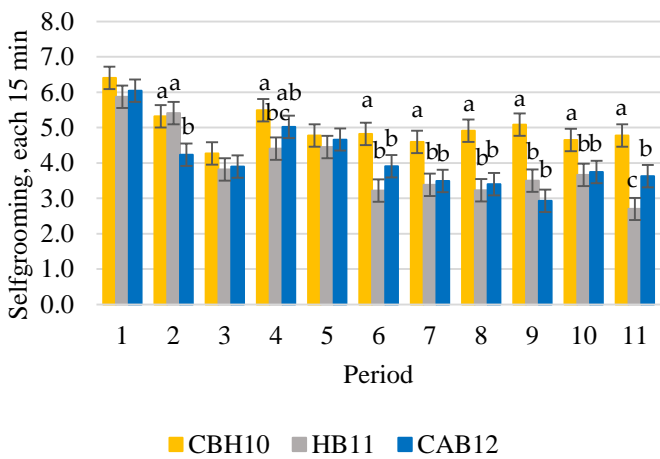
⁶ 5 5-point scale: purchase decision: 1= would definitely not buy, 2= would probably not buy, 3= buy dubious, 4= would probably buy, 5= definitely buy.



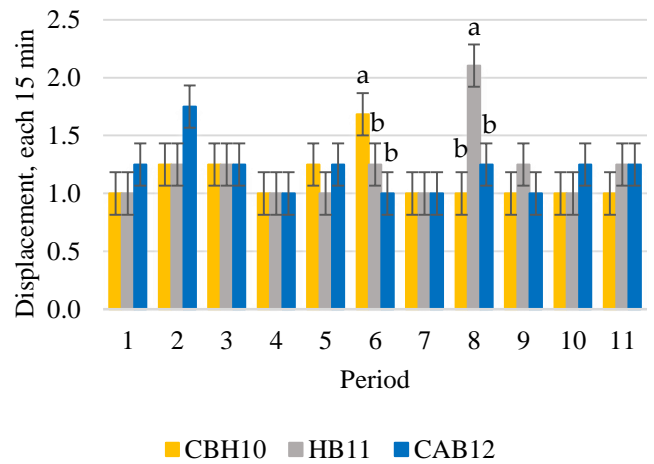
(a)



(b)

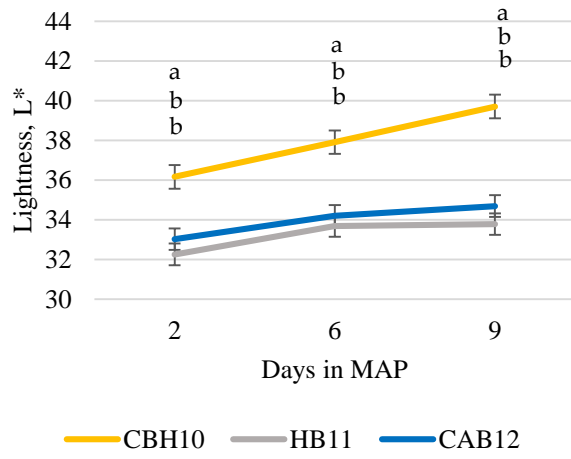


(c)

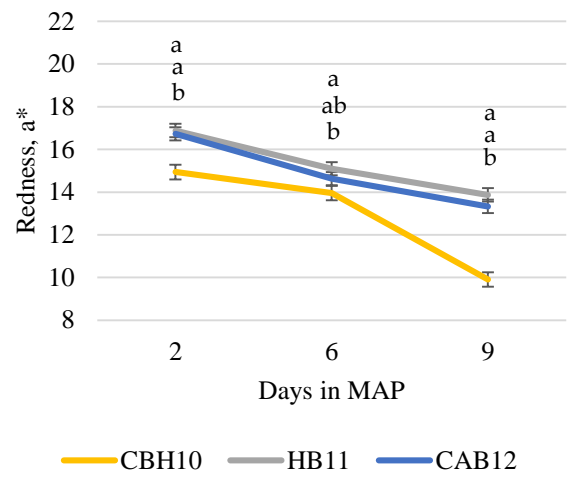


(d)

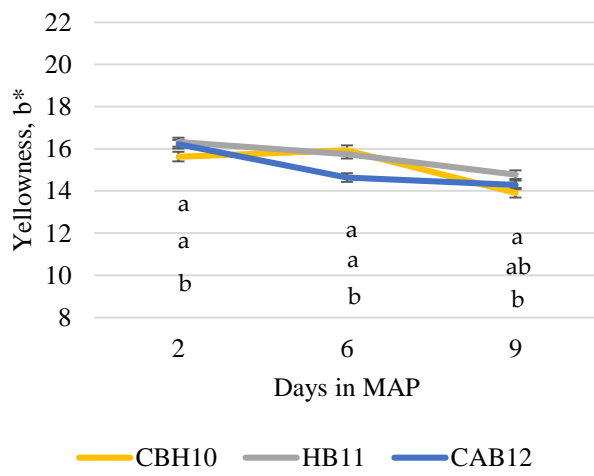
Figure 3. (a) Standing, (b) ruminating, (c) self-grooming, and (d) displacement behaviour during the first 168 days of study in crossbred Holstein x beef breeds like Charolais or Limousine heifers slaughtered at 10 months of age (CBH10), Holstein bulls slaughtered at 11 months of age (HB11) and crossbred Holstein with Angus bulls slaughtered at 12 months of age (CAB12) (^{a,b,c} significant differences $p < 0.05$) between production system within the same period).



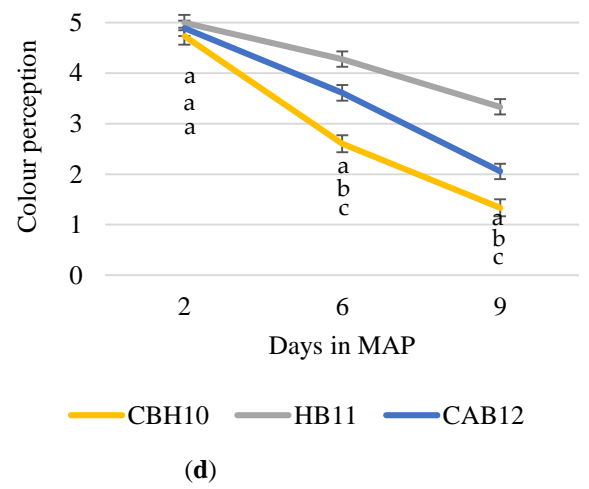
(a)



(b)



(c)



(d)

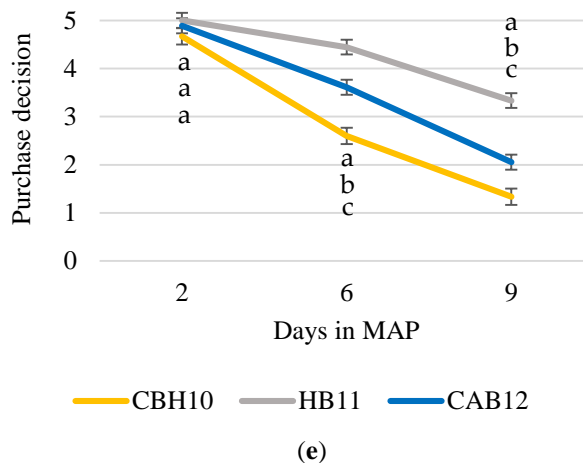


Figure 4. Evolution of the instrumental colour ((a) lightness, (b) redness, (c) yellowness)), (d) colour perception (5-point scale: 1= highly undesirable, 2= moderate undesirable, 3= slightly desirable, 4= moderately desirable and 5= highly desirable), and (e) purchase decision (5-point scale: 1= would definitely not buy, 2= would probably not buy, 3= buy dubious, 4= would probably buy, 5= definitely buy) of meat over the storage time in refrigeration and MAP conditions by production system (crossbred Holstein x beef breeds like Charolais or Limousine heifers slaughtered at 10 months of age (CBH10), Holstein bulls slaughtered at 11 months of age (HB11) and crossbred Holstein with Angus bulls slaughtered at 12 months of age (CAB12)) ^(a,b,c) significant differences $p < 0.05$ between production system within the same day).

4. Discussion

When crossbred heifers, Holstein bulls, and Angus–Holstein crossbred bulls were raised under the same housing and management conditions and fed similar diets (concentrate and straw) during the first 168 d of study, heifers, as expected, had a reduced growth and worse efficiency in several growing periods. Some studies have reported that bulls gain weight more rapidly and efficiently than heifers (Bureš y Barton, 2012), which has been attributed to the anabolic properties of androgens, in particular testosterone (Heitzman, 1976).

Furthermore, meat from heifers has more intramuscular fat and is more tender than meat from bulls slaughtered at the same age (Modzelewska-Kapituła y Nogalski, 2014; Venkata et al., 2015); however, in the present study, bulls were slaughtered 41 to 56 days later (Holstein or crossbred Angus, respectively) than heifers, and this could explain the lack of significant differences in intra-muscular fat content since it has been reported that

in Holstein bulls intramuscular fat increases around 0.3% every 30 d (Marti et al., 2013). It was expected that bulls would be more sexually active and more susceptible to stress than heifers, and they would be more susceptible to pre-slaughter stressors (handling, transportation, lairage), and the meat of their carcasses would be more prone to become DFD (dry, firm, and dark) (Monin, 1999). However, in the present study, Holstein bulls had the lowest meat pH even if their sexual and agonistic behaviors were not significantly different than those of the crossbred Angus bulls. Some authors have reported differences in pH in bulls slaughtered at different ages and showed that pH was higher at 12 than at 10 and 14 months (Marti et al., 2013). Nevertheless, comparisons between works are difficult since the production systems are, not the same, and there are many factors that could affect the pH. The meat pH plays a very important role in technological quality as it largely determines shelf life and processability as well as water holding capacity and may affect sensory quality attributes, such as the visual perception of color or its tenderness. However, in the present study, differences observed among the three production systems were not considered as relevant since the mean pH was below 6.0 in all production systems. Maybe unrecorded factors such as temperature during transport, waiting time in lairage pens prior to slaughter, or other stressors before slaughtering (Flores et al., 2008), as well as cooling conditions, could have affected meat quality parameters, such as the pH. In addition, when analyzing the performance data of the global production system, no great differences in efficiency (expressed as growth divided by total concentrate intake) were observed; these results are probably related to the impairment of growth and efficiency with increasing slaughter age (Marti et al., 2013). However, a greater impairment of global carcass efficiency (carcass yield expressed as percentage of total concentrate intake) was observed in Holstein or Angus crossbred bulls than in crossbred heifers. Meat quality data, such as intramuscular fat content and meat tenderness, were also very similar among production systems; these data are indicative that each production system had optimized the slaughter age and nutrition program and similar meat quality could be achieved. However, this affirmation is not fully supported by the meat color and purchase decision data. The evolution of the color of the heifer meat (lightness, redness), color perception, and purchase decision were indicative of an unexpected decrease in meat quality and duration of meat shelf life. These data are not

surprising as meat color is the first criterion for consumer appreciation of meat at the time of purchase (Font-i-Furnols y Guerrero, 2014). Meat color can be affected by many factors (age, gender, type of muscle, intramuscular fat content), but in the present study, the intake of antioxidants via feed may be one of the potential reasons behind this impaired meat color in the heifer meat (Castillo et al., 2013). The vitamin E content of the growing concentrate was 30 UI per kg, less than the vitamin E content of the finishing concentrate, which was 202 UI per kg; in the present, study animals were fed the same concentrate from day 0 to 168 to be able to compare the different production systems, and the vitamin E concentration was not adapted for the females that were slaughtered at day 170 of the study and, consequently, were not fed finishing concentrate. The authors suggest that supplementing feedlot cattle, especially Holstein steers, with vitamin E extended the color display stability of fresh beef (Arnold et al., 1992). This was accomplished whether an additional 300 IU/d was supplemented for 9 months, 1140 IU/d for 67 d, or 1200 IU/d for 38 d. In the present study, all animals consumed less than 200 IU daily for 168 days; thereafter, heifers were slaughtered and bulls consumed the finishing concentrate, in which vitamin E was highly increased so that bulls consumed around 1400 IU daily before slaughter, either for 40 or 57 days before slaughter for Holstein bulls or crossbred Angus, respectively. To be able to confirm that vitamin E content was causing the lowest meat color perception scores and the lightness and redness meat, an additional study should be performed. Another unexpected result was that when comparing meat from Holstein bulls vs. crossbred Angus bulls after 6 and 9 days of display in MAP, Holstein bull meat had higher color preference and purchase decision scores than Angus bull meat, although the amount of Vitamin E consumed was higher in the Angus bulls. According to the results of the present study (performance and meat quality data, purchase decision), moving from a production system based on Holstein bulls slaughtered at 11 months to the crossbred Angus bulls slaughtered at 12 months has no technical (performance, animal behavior or meat quality) data support, and only marketing strategies for meat differentiation could support this decision. The decision of crossing dairy cows with Angus was based on the hypothesis that meat from Angus animals is perceived by the consumers as the meat with the best quality (Bureš y Barton, 2018); however, the Angus meat that consumers perceive as a good quality meat is usually

coming from pure breeds, castrated, probably hormone-implanted animals with a different meat aging protocols, improving meat intramuscular fat, tenderness, and flavor (Reichhardt et al., 2021). At the point of purchase, aspects such as color, freshness, appearance, and fat quantity, as well as price and expiration date, are the most important factors for Spanish consumers (Magalhaes et al., 2022), and, partly, they can be modified with the production system, including breed, age at slaughter, type of feeding, and transport conditions. Thus, any change in the production system should consider all these factors aiming to match consumer demands. As discussed previously, non-technical-based marketing strategies favoring specific claims, such as the production system type, could bias the consumer's choice, thus pushing the farmers to match market demands.

5. Conclusions

No great differences in efficiency (expressed as ADG divided by total concentrate intake), intramuscular fat, or meat tenderness among the three Mediterranean productions systems evaluated (crossbred Holstein x beef breeds such as Charolais or Limousine heifers slaughtered at 10 months of age, Holstein bulls slaughtered at 11 months of age and crossbred Holstein with Angus bulls slaughtered at 12 months of age) were observed. Surprisingly, Holstein bulls had the lowest meat pH even if their sexual and agnostic behavior was not significantly different from the crossbred Angus bulls. However, carcass conformation of crossbred Angus bulls was greater than in Holstein bulls. The evolution of color of heifer meat (lightness, redness), color perception, and purchase decision were indicative of an unexpected impairment in meat quality and meat shelf life; maybe reduced antioxidant consumption could be one of the potential explanations. Additionally, meat shelf life was less in crossbred Angus bulls than in Holstein bulls. In summary, according to the present study (performance and meat quality data), moving from a production system based on Holstein bulls to crossbred Angus has no technical support except if carcass conformation wants to be improved, and only marketing strategies for meat differentiation could support this decision.

6. References

- Albertí, P.; Panea, B.; Sañudo, C.; Olleta, J.L.; Ripoll, G.; Ertbjerg, P.; Christensen, M.; Gigli, S.; Failla, S.; Concetti, S.; et al. Live weight, body size and carcass characteristics of young bulls of fifteen European breeds. *Livest. Sci.* 2008, 114, 19–30.
- AMSA. *Research Guidelines for Cookery, Sensory Evaluation and Instrumental Measurements of Fresh Meat*; American Meat Science Association and National Livestock and Meat Board: Chicago, IL, USA, 1995.
- AOAC. *Official Methods of Analysis*, 17th ed.; Association of the Official Analytical Chemists: Arlington, VA, USA, 2005.
- Arnold, R.N.; Scheller, K.K.; Arp, S.C.; Williams, S.N.; Buege, D.R.; Schaefer, D.M. Effect of long- or short-term feeding of alpha-tocopheryl acetate to Holstein and crossbred beef steers on performance, carcass characteristics, and beef color stability. *J. Anim. Sci.* 1992, 70, 3055–3065.
- Bureš, D., and L. Barton. 2012. Growth performance, carcass traits and meat quality of bulls and heifers slaughtered at different ages. *Czech J. Anim. Sci.* 57:34–43. doi:10.17221/5482-cjas.
- Bureš, D.; Barton, L. Performance, carcass traits and meat quality of Aberdeen Angus, Gascon, Holstein and Fleckvieh finishing bulls. *Livest. Sci.* 2018, 214, 231–237.
- Castillo, C.; Pereira, V.; Abuelo, Á.; Hernández, J. Effect of supplementation with antioxidants on the quality of bovine milk and meat production. *Sci. World J.* 2013, 2013, 616098.
- Clinquart, A.; Oury, M.; Hocquette, J.-F.; Guillier, L.; Sante-Lhoutellier, V.; Prache, S. Review: On-farm and processing factors affecting bovine carcass and meat quality. *Animal* 2022, 16, 100426.

- Devant, M.; Penner, G.B.; Marti, S.; Quintana, B.; Fábregas, F.; Bach, A.; Arís, A. Behavior and inflammation of the rumen and cecum in Holstein bulls fed high-concentrate diets with different concentrate presentation forms with or without straw supplementation. *J. Anim. Sci.* 2016, 94, 3902–3917.
- Ferret, A.; Calsamiglia, S.; Bach, A.; Devant, M.; Fernández, C.; García-Rebollar, P.; Fundación española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA). Necesidades Nutricionales Para Ruminantes de Cebo. 2008. Available online: http://www.fundacionfedna.org/sites/default/files/NORMAS_RUMIANTES_2008.pdf (accessed on 1 August 2022).
- Flores, A.; Linares, C.; Saavedra, F.; Serrano, A.B.; Lopez, E.S. Evaluation of changes in management practices on frequency of DFD meat in cattle. *J. Anim. Vet. Adv.* 2008, 7, 319–321.
- Font-i-Furnols, M.; Guerrero, L. Consumer preference, behavior and perception about meat and meat products: An overview. *Meat Sci.* 2014, 98, 361–371.
- Heitzman, R.J. The effectiveness of anabolic agents in increasing rate of growth in farm animals; report on experiments in cattle. *Environ. Qual. Saf. Suppl.* 1976, 5, 89–98.
- Hocquette, J.F.; Ellies-Oury, M.P.; Lherm, M.; Pineau, C.; Deblitz, C.; Farmer, L. Current situation and future prospects for beef production in Europe—A review. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 2018, 31, 1017–1035.
- Mach, N.; Bach, A.; Realini, C.E.; Font i Furnols, M.; Velarde, A.; Devant, M. Burdizzo pre-pubertal castration effects on performance, behaviour, carcass characteristics, and meat quality of Holstein bulls fed high-concentrate diets. *Meat Sci.* 2009, 81, 329–334.
- Magalhaes, D.R.; Maza, M.T.; Do Prado, I.N.; Fiorentini, G.; Kirinus, J.K.; del Mar Campo, M. An Exploratory Study of the Purchase and Consumption of Beef: Geographical and Cultural Differences between Spain and Brazil. *Foods* 2022, 11, 129.

- Marti, S.; Realini, C.E.; Bach, A.; Pérez-Juan, M.; Devant, M. Effect of vitamin A restriction on performance and meat quality in finishing Holstein bulls and steers. *Meat Sci.* 2011, 89, 412–418.
- Marti, S.; Realini, C.E.; Bach, A.; Pérez-Juan, M.; Devant, M. Effect of castration and slaughter age on performance, carcass, and meat quality traits of Holstein calves fed a high-concentrate diet. *J. Anim. Sci.* 2013, 91, 1129–1140.
- Ministerio de Agricultura, Pesca Y Alimentación. Estudio del Sector Español de Cebo de Vacuno. Datos SITRAN; Secretaría General Técnica, Centro de Publicaciones: Madrid, Spain, 2019; pp. 1–40. Available online: <http://publicacionesoficiales.boe.es/> (accessed on 1 August 2022).
- Modzelewska-Kapituła, M.; Nogalski, Z. Effect of gender on collagen profile and tenderness of infraspinatus and semimembranosus muscles of Polish Holstein-Friesian x limousine crossbred cattle. *Livest Sci.* 2014, 167, 417–424.
- Monin, G. Facteurs biologiques des qualités de la viande bovine. *INRA. Prod. Anim.* 1991, 4, 151–160.
- Paniagua, M.; Crespo, J.; Arís, A.; Devant, M. Citrus aurantium flavonoid extract improves concentrate efficiency, animal behavior, and reduces rumen inflammation of Holstein bulls fed high-concentrate diets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2019, 258, 114304.
- Reichhardt, C.C.; Messersmith, E.M.; Brady, T.J.; Motsinger, L.A.; Briggs, R.K.; Bowman, B.R.; Hansen, S.L.; Thornton, K.J. Anabolic Implants Varying in Hormone Type and Concentration Influence Performance, Feeding Behavior, Carcass Characteristics, Plasma Trace Mineral Concentrations, and Liver Trace Mineral Concentrations of Angus Sired Steers. *Animal* 2021, 11, 1964.
- Savoia, S.; Brugiapaglia, A.; Pauciullo, A.; Di Stasio, L.; Schiavon, S.; Bittante, G.; Albera, A. Characterisation of beef production systems and their effects on carcass and meat quality traits of Piemontese young bulls. *Meat Sci.* 2019, 153, 75–85.

- Serrapica, F.; Masucci, F.; De Rosa, G.; Calabrò, S.; Lambiase, C.; Di Francia, A. Chickpea Can Be a Valuable Local Produced Protein Feed for Organically Reared, Native Bulls. *Animal* 2021, 11, 2353.
- Sinclair, K.D.; Lobley, G.E.; Horgan, G.W.; Kyle, D.J.; Porter, A.D.; Matthews, K.R.; Commission, L.; Drive, S.; Mk, M.K. Factors influencing beef eating quality 1. Effects of nutritional regimen and genotype on organoleptic properties and instrumental texture. *J. Anim. Sci.* 2001, 72, 269–277.
- Van Soest, P.J.; Robertson, J.B.; Lewis, B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 1991, 74, 3583–3597.
- Venkata Reddy, B.; Sivakumar, A.S.; Jeong, D.W.; Woo, Y.B.; Park, S.J.; Lee, S.Y.; Byun, J.Y.; Kim, C.H.; Cho, S.H.; Hwang, I. Beef quality traits of heifer in comparison with steer, bull and cow at various feeding environments. *J. Anim. Sci.* 2015, 86, 1–16.
- Verdú, M.; Bach, A.; Devant, M. Effect of feeder design and concentrate presentation form on performance, carcass characteristics, and behavior of fattening Holstein bulls fed high-concentrate diets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2017, 232, 148–159.

CAPITULO IV

The effect of ventilation on productive parameters, animal activity, and carcass and meat quality in fattening bulls



SUMMARY

Escalating frequencies of heat waves, drought and flooding events will negatively impact crop and livestock productivity. Livestock production although is affected by the effects of global warming, it may implement management and nutritional strategies to reduce the effects of heat stress. Heat stress becomes critical when ruminants experience upper critical temperatures and can cause production losses in the beef industry by increasing mortality and feed conversion as well by the incidence of meat with high ultimate pH and dark color. The aim of this study was to evaluate the effect of ceiling fans installed in partially open barns during the last two month of the finishing period during summer on performance, behavior, ultimate pH, meat color and color stability in dairy-beef crossbred bulls fed high concentrate diets. In contrast to the expectations, ceiling fans did not mitigate high temperatures although the air flow improved pen conditions. Ceiling fans impaired daily gain and rumination of bulls but improved ultimate pH and color stability.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effect of ceiling fans installed in partially open barns during the last 42 days of the finishing period of dairy-beef bulls during summer. A total of 432 crossbred bulls were involved in a study with two treatments: a natural ventilated barn (control; CTR) and a barn with natural and forced ventilation using ceiling fans (ventilated; VEN). Animal behavior was recorded, and blood samples were collected to evaluate lactate and creatine kinase throughout the study. Additionally, meat samples from the *Longissimus muscle* were collected to measure instrumental color, pHu, and shelf life. Ceiling fans did not mitigate high temperatures although the air flow improved pen conditions (dryness of the pen). The VEN bulls allocated in ceiling fans barn had lower final body weight and average daily gain, reduced rumination time and had greater serum creatine kinase activity than CTR. The meat pH was greater in CTR than in VEN animals, however other differences observed among treatments in meat quality and shelf life had minimal consequences. Therefore, ceiling fans as they were installed in the present study are not a good investment to mitigate heat stress, on the contrary it has detrimental effects on performance.

Keywords: fattening bulls; heat stress; ventilation system

1. Introduction

The world's climate is continuing to change at rates that are projected to be unprecedented in recent human history (Thornton et al., 2007). The prediction models have indicated that temperature would increase 0.2°C per decade. And addition to global warming a weather variability is likely to increase, escalating frequencies of heat stress, drought and flooding events that will have adverse effects on crop and livestock productivity (Reay et al., 2007). It is likely that in the boreal hemisphere the effects of global warming will be more severe (Nardone et al., 2010). In these areas the livestock production is more industrialized so the indirect effects of global warming (soil infertility, water scarcity, grain yield, etc.) may impair the productivity at more extend than the direct effects of heat on animals as these intensive systems have more capacity to implement nutritional and management strategies to reduce heat stress (Nardone et al., 2010). Specifically, in Spain, the average increase of temperature in the last 60 years have been 1.3°C, with 38% of the territory with increases between 1.5 and 1.9°C, and 12% of the territory with increases higher than 2°C (Agencia Estatal de Meterologia, 2023; Observatorio de Sostenibilidad, 2023). Therefore, in Spain the increase of temperature is higher than the global increase (1.1°C). Some of these areas with higher increases are areas where cattle are fattened for meat. The beef fattening system in Spain is traditionally an intensive system where calves are housed commonly in partially open barns with straw bedding (Sánchez et al., 2022). Most of the cattle are bulls, and they are fed a growing concentrate with moderate energy content until 9–10 months of age and a finishing concentrate with a greater energy content until slaughter (Mach et al., 2009).

In general, ruminants have wide comfort zones and a high degree of thermal tolerance (Rowlinson, 2008), but it is known that body functions are more efficient within the thermo-neutral zone, and stress become critical when ruminants experience upper and lower critical temperatures or rapid changes of these conditions (Nardone et al., 2010). The higher threshold temperature for beef cattle is 30°C with relative humidity below 80% and 27°C with relative humidity above 80% (SCAHAW, 2001). Heat stress causes production loss in the beef industry (Spratt et al., 2001), increase mortality (Vitali et al., 2009) and increases the incidence of meat with a high ultimate pH (pHu) and dark (Kadim et al., 2004).

Some techniques implemented by the farmers that may help acclimation and improve production are changing the feeding regimen (Fregley, 1996), providing additional drinking water points (Mader et al., 2002), use of cooling systems such as ventilation (Mazzenga et al., 2006), water sprinkling or misting (Calegari et al., 2014). Our barns take advantage of natural ventilation; however, it might be not enough when temperatures are higher than 35°C and with low humidity. The installation of additional water though did not increase the amount of water consumed in fattening bulls (Marti et al., 2017). The use of cooling systems where water is involved may increase slipperiness with increased risk of injuries (Calegari et al., 2014), increase of dirtiness of the cattle that can be economically punished at the slaughterhouse (Brscic et al., 2015), and increase of use of bedding material to maintain the bedding dry and clean increasing the production cost (Brscic et al., 2015). Alternatively, although our barns have natural ventilation, the installation of ceiling fans may help to reduce the negative effects of heat stress. Magrin et al. (2017) and Parrini et al. (2022) evaluated the use of ceiling fans in beef cattle fed total mixed ration entering to confinement in the last period of the finishing phase in pens of 6 animals. In their studies the air flow provided by ceiling fans did not improve the performance, but changes in the physiology and behavior were observed. The type of diet, previous management and location of the calves and fattening location may influence the outcomes observed in the cited studies. Nowadays scarce studies available, and studies based in the dairy-beef animals are not published. Therefore, knowing that in our area there are days in summer that temperatures are higher than 41°C, that the calves are from a dairy-beef system and brought to the farm between 21 and 28 d of age, and the diet of the calves was high concentrate pellets and straw fed separately, we hypothesized that cattle that are finished during summer may suffer heat stress affecting growth and meat quality. The aim of this study was to evaluate the effect of ceiling fans installed in partially open barns during the last two month of the finishing period during summer on performance, ultimate pH, meat color and color stability when meat is packaged in MAP in dairy-beef crossbred bulls fed high concentrate diets.

2. Materials and Methods

2.1. Animals housing and diet

A total of 432 crossbred bulls (452 ± 51.0 kg of body weight (BW) and 303 ± 34.3 d of age) reared in a commercial farm (Agropecuària Montgai S.L., Montgai, Spain) were used to evaluate the effect of ceiling fans. The study was repeated over two years during July and August of 2018 and 2019. Each year, two partially open barns were used and assigned to one of the two treatments: a natural ventilated barn (control; CTR) and a barn with natural and forced ventilation using ceiling fans (ventilated; VEN). Animals in each barn were weighed and randomly allocated in 6 pens (a total of 12 pens; 6 pen/treatment; 16-21 animals/pen). The study lasted for 42 days. Ceiling fans (Zefiro Line, CMP Impianti Srl, Italy) were installed in the beams between two pens at 3.5 m high, therefore 3 ceiling fans were mounted in the VEN barn and they were programmed according to the thresholds of Temperature-Humidity Index (THI) described for heat stress (Amstrong et al., 1994; Jeelani et al. 2019); when ambient temperature achieved 23°C (71 THI), ventilation speed was 30% of the maximum speed of the fan, and when ambient temperature achieved 31°C (79 THI) the ceiling fan worked at maximum speed. The total of hours of fans working was recorder daily. Two HOBO (EasyLog EL-USB-1 standalone USB temperature data logger) were installed in each barn to measure the ambient temperature and humidity each hour. The THI was obtained using the temperature and humidity recorded ($\text{THI} = (0.8 \times T^{\circ}) + \{[(\text{RH}^{\circ}/100) \times (\text{RH}^{\circ} - 14.4)] + 46.4\}$) (Gaughan et al., 2008).

Pens (12 m x 6 m; $72 \text{ m}^2/\text{pen}$) were deep bedded with straw and equipped with a five-space concentrate feeder (0.50 m long x 0.26 m wide x 0.15 m depth), a seven-space straw feeder (3.00 m length, 1.12 m wide, and 0.65 m depth) and one water bowl (0.30 m length, 0.30 m width, 0.18 m depth). The same finishing concentrate and straw was offered separately and ad libitum in both barns. Each barn was equipped with two concentrate silos suspended in 4 load cells and equipped with a scale. Barn feed intake was recorder daily by recording the concentrate disappearance in 24 hours. Barn water intake was also recorded daily using a water meter by recording the amount of water consumed in 24 hours.

2.2. Animal performance and animal behaviour

Animals were weighed at the beginning of study (d 0) and every 14 d until d 42 of study. Animal behavior was recorded for each pen on d 0, 7, 14, 21, 28 and 35 from 0800 to 1030 (Table 1). The general activity recording was performed by scan sampling and included postures standing or lying, also drinking and rumination. General activities were scored using 4 scan samplings of 10 s at 5 min intervals (Devant et al., 2016). Moreover, non-agonistic interactions and agonistic behaviors were recorded during three continuous sampling periods of 5 min, with 15 min of each sampling and repeated twice for each pen, starting randomly in a different pen every scanning, and two pens were scored at the same time (Paniagua et al., 2018).

Table 1. Description of interactions observed from general activities, agonistic and non-agonistic interaction of animals at the farm.

Interaction	Definition
General activities	
Standing	Standing was recorded when the animal was standing on its 4 legs, independently of any activity the animal might perform.
Lying	Lying was recorded as soon as the animal was not standing on its 4 legs, independently of any activity the animal might perform.
Drinking	Drinking was recorded when the animal had its mouth in the water bowl. An observation was recorded as drinking when the bull was with its muzzle in the water bowl or swallowing the water.
Ruminating	Ruminating, included the regurgitation, mastication, and swallowing of the bolus
Non-agonistic interactions	
Self-grooming	Nonstereotyped licking of its own body, scratching with a back limb or against the fixtures.
Oral non-nutritive behavior	Licking or biting fixtures with non-nutritive finality.
Agonistic interactions	
Fighting	When bulls pushed vigorously head against head.
Butting	When one bull push vigorously its head against any part of another bull's body.
Displacement	When one bull jostle itself between 2 other bulls or between a bull and any equipment.
Chasing	When a bull follow fast or run behind another bull.
Chasing-up	When a bull push a resting animal and make him to stand up.
Sexual interactions	
Flehmen	Upper lip reversed.
Attempted mounts	Head on the back of another animal.
Completed mounts	Forelimbs on the back of another animal.
Stereotypies	
Oral stereotypies	Tongue rolling, stereotyped licking or biting any equipment.

2.3. Blood sample collection

A blood sample was collected through coccygeal vein from 20 animals per pen selected from a BW median 14 days before d 0 using a non-additive tube (BD Vacutainer, Plymouth, UK) to analyze lactate and creatine kinase (CK). Samples were centrifuged at 2,000 g for 15 min and serum was frozen at -20°C for further analysis. Serum CK catalytic concentration was determined by the IFCC kinetic method (OSR 6179, Beckman Coulter Inc.) and lactate was determined by a fluorescence-based assay (Cayman Chemical, USA).

2.4. Humidity of bedding material

Every 14 days, in each pen bedding material in front of the water trough and feeder was collected to evaluate the humidity of the bedding. Samples were dried in an oven at 100°C temperature during 24 hours.

2.5. Carcass sample collection

Animals were transported to the slaughterhouse (Viñas Group, Vic, Spain) by truck at 42 days of study. Before each loading, animal BW was recorded as final BW. Transport distance was approximately 108 km to the slaughterhouse. Animals were slaughtered following commercial practices according to the EU Regulation 1099/2009 using a captive-bolt pistol for stunning and dressed according to commercial practices. Hot carcass weight (HCW) was registered for each animal. Carcasses were classified according to its conformation into (S)EUROP categories and fatness into 1.2.3.4.5 categories, according to the EU classification system (EU Regulation No. 1208/81).

2.6. Meat sample collection

A subset of 48 animals (24 animals/treatment) were selected for the subsequent analysis of meat quality. After 24 h post-mortem, carcass pH was measured by a pH meter (pH 25 DL; Crison, Alella, Spain) with a xerolyt penetration probe in the *Longissimus lumborum* (LL), between the lumbar vertebrae L4 and L5 of the left carcass. Measurements of pH above 5.8 were indicative of dark, firm, and dry (DFD) meat

(Hughes et al., 2020), according to the Spanish meat industry carcass penalization (Mach et al., 2008). From each carcass, LL samples between L2 and L4 were obtained in the cutting plant after the pH measurement. The LL was cut in steaks of 2.5 cm width starting at last rib level. In the first LL sample, instrumental color was measured on the exposed cut surface after 30 min blooming, using a Minolta spectrophotometer (CM-600d, Minolta Inc., Osaka, Japan) in the CIE-LAB space (Commission Internationale de l'Éclairage, 1978) with illuminant D65 and 10° viewing angle for L* (lightness), a* (redness), and b* (yellowness). Thereafter, the four consecutive steaks were individually packaged in MAP (70% O₂:30% CO₂) with polypropylene trays, to obtain the samples considering the shelf life analysis on day 3, 7, 10 and 13 after packaging. Steaks in MAP were transported to IRTA's pilot plant (Monells, Girona, Spain), and displayed for 13 days in a cooler illuminated room (5 ± 0.5 °C), with a homogeneous fluorescent light (illuminated with 900 lx fluorescent lighting), activated for 12 hours a day in order to evaluate the evolution of instrumental color and color perception at day 3, 7, 10 and 13. A group of trained panelists evaluated the color perception using a 5-point scale (color perception: 1: highly undesirable, 2: moderate undesirable, 3: slightly desirable, 4: moderately desirable and 5: highly desirable).

2.7. Statical analyses

The design of the study was a design in randomized complete blocks. Pens were as the experimental unit. Initial and final BW, initial age and average daily gain (ADG), and pHu were analyzed using a mixed-effects model (SAS, version 9.4, SAS Inst., Inc., Cary, NC), including treatment as a main effect, and year and pen as a random effect. Initial BW was used as covariate for final BW and ADG, and final BW was as covariate for pHu. Total dry matter intake, total water intake, serum concentration of lactate and CK in MAP were analyzed using a mixed-effects model (SAS, version 9.4, SAS Inst., Inc., Cary, NC) with repeated measures. The model included treatment, period (every 14 days), and the interaction between the treatment and period as main effects, and year and pen as random effect. Period was considered a repeated factor, and it was subjected to 2 variance-covariance structures: compound symmetry, autoregressive order one. The covariance structure that minimized Schwarz's Bayesian information criterion was

considered the most desirable analysis. General activities were calculated as percentage, and data from agonistic and non-agonistic behaviors were transformed into root-square to achieve normal distribution. Behavioral data were analyzed using a mixed model (SAS version 9.4, SAS Inst., Inc., Cary, NC) with repeated measures following the same model described above. Conformation and fatness, and percentage of DFD meat were analyzed using the chi-square model of SAS (version 9.4, SAS Inst., Inc., Cary, NC). Instrumental color in MAP was analyzed also using a mixed model with repeated measures (SAS version 9.4, SAS Inst., Inc., Cary, NC) treatment and storage time and its interaction as main effects, and year and temperature of the cooler as covariate. Finally, color perception score was analyzed using Glimmix procedure with Laplace method and multi distribution.

3. Results

Environmental conditions during the study are reported in Figure 1 as THI values for each year. The THI inside the CTR and VEN barns were similar during the 42 days of study in both years. In year 1, The average THI and average maximum temperature were 74.8 and 26.9°C, and 74.9 and 26.9°C for the CTR and VEN barns, respectively. During the second year, there was a problem with the recordings during the first 16 dies therefore we missed that data. From day 17 of the study, the average THI and average maximum temperature were 74.5 and 27.1°C, and 74.7 and 26.9°C for the CTR and VEN barns, respectively. Similar conditions were observed during the two years of the study.

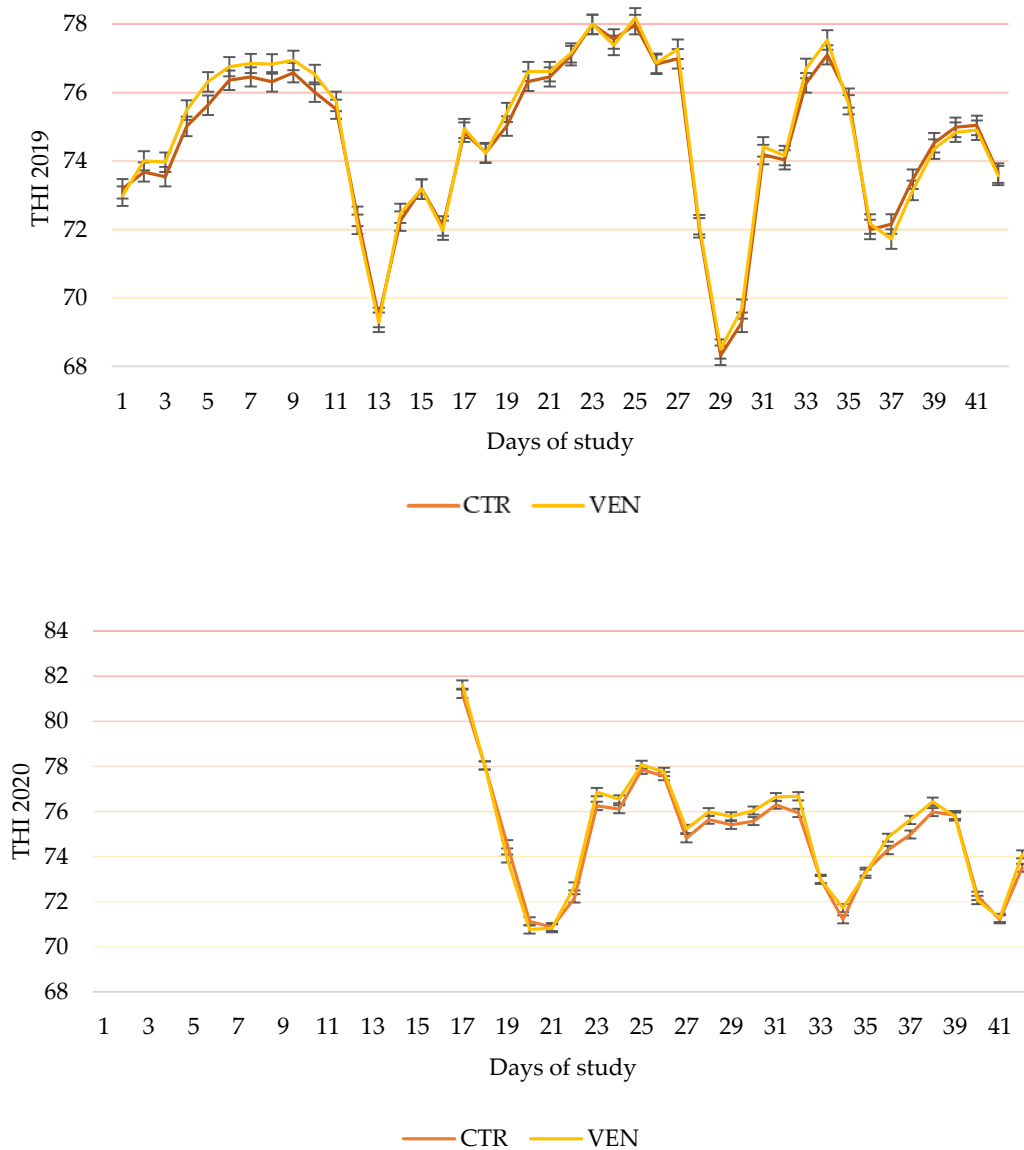


Figure 1. Temperature Humidity Index (THI) from year 1 (a) and from year 2 (b) during the 42 days of study. The CTR was the control barn without ceiling fans, and the VEN was the barn with ceiling fans. (VEN) (* significant differences $p < 0.05$ between treatment within the same day).

However, the total hours that the ceiling fans worked seemed (data not analyzed) greater for the summer of year 2 than year one (Table 2).

Table 2. Average, minimum and maximum hours of ceiling fans functioning a day.

Year	Average	Min	Max
1	18.1	10.5	23.8
2	23.5	17.8	24.0

When the humidity of the bedding material was evaluated, the bedding material in CTR pens had greater ($p = 0.02$) humidity than in VEN pens (68.0% and 64.6%, respectively).

The effect of ventilation system on performance is reported in Table 2. The ventilation system affected the final performance of the bulls. Bulls in CTR pens grew more and had a greater final BW ($p < 0.001$) than bulls in the VEN pens. The average concentrate intake and average water intake was similar for CTR and VEN bulls.

Table 3. Performance, concentrate and water intake of finishing bulls allocated in a natural ventilated barn (CTR) and a barn with natural and forced ventilation using ceiling fans (VEN).

Item	Treatment ¹			<i>p</i> -value ³		
	CTR	VEN	SEM ²	T	Time	T x Time
Number of animals	215	217	-	-	-	-
Days of study	42	42	-	-	-	-
Initial age, d	303	304	33.5	0.84	-	-
Initial BW, kg	449	455	56.3	0.60	-	-
Final BW, kg	508 ^a	497 ^b	1.81	<0.01	-	-
ADG, kg/d	1.5 ^a	1.2 ^b	0.04	<0.01	-	-
Avg concentrate intake, kg MS	7.0	7.2	0.63	0.73	0.26	0.68
Avg water intake, L	44.4	46.4	1.69	0.28	<0.01	0.71

^{a,b} Rows with different superscripts differ ($p < 0.05$).

¹ CTR = barn without natural ventilation; VEN= with natural and forced ventilation using ceiling fans.

² SEM= Standard error of the mean.

³ T = Treatment effect; Time = time effect (period of 14 d); T x Time = interaction between treatment and time.

Animal behavior data are presented in Table 3. The VEN bulls had a reduced ruminating activity ($p < 0.01$) and tended ($p < 0.10$) to have an increased number of stereotypies than CTR bulls. On day 0, bulls in CTR pens had greater ($p < 0.05$) percentage of animals standing compared with bulls in VEN pens; on day 14, bulls in VEN pens had greater ($p < 0.05$) percentage of animal standing compared with CTR pens (Figure 2a). Self-grooming in bulls of CTR pens was greater ($p < 0.05$) on day 35 compared with bulls in VEN pens (Figure 2b). Social behavior was greater ($P < 0.05$) for bulls in VEN pens on day 21 compared with CTR pens, however on day 35 bulls in CTR pens had greater ($p < 0.05$) social behaviors compared with VEN pens (Figure 2c). Additionally, bulls in VEN pens had greater ($p < 0.05$) social behaviors compared with CTR pens on day 35 (Figure 2c). In day 35 chasing was greater ($p < 0.05$) for VEN compared with CTR (Figure 2d).

Table 4. Animal behavior from finishing bulls allocated in a natural ventilated barn (CTR) and a barn with natural and forced ventilation using ceiling fans (VEN).

Item	Treatment ¹		SEM ²	p-value ³		
	CTR	VEN		T	Time	T x Time
General activities, %						
Standing	74.3	74.9	2.89	0.80	<0.01	0.01
Lying	25.7	24.9	2.92	0.75	<0.01	0.01
Ruminating	11.0 ^a	8.3 ^b	0.48	<0.01	0.01	0.36
Behavior, each 15 min						
Self-grooming	10.3	9.4	1.22	0.58	0.03	0.01
Social	9.6	10.5	4.50	0.27	<0.01	<0.01
Oral	5.6	5.5	1.03	0.94	0.43	0.12
Fighting	6.2	5.3	1.37	0.26	0.02	0.65
Butting	4.9	5.9	0.74	0.18	<0.01	0.40
Displacement	3.7	3.0	1.39	0.41	<0.01	0.42
Chasing	1.2 ^b	2.1 ^a	0.74	0.03	0.02	0.03
Chasing up	0.3	0.3	0.10	0.99	0.01	0.04
Flehmen	8.5	8.8	4.70	0.83	0.16	0.06
Attempt to mount	4.9	5.5	1.17	0.73	<0.01	0.40
Complete mount	3.2	3.9	1.46	0.64	<0.01	0.09
Stereotype	1.6	3.1	1.12	0.07	0.03	0.75

^{a,b} Rows with different superscripts differ ($p < 0.05$).

¹ CTR = barn without natural ventilation; VEN= with natural and forced ventilation using ceiling fans.

² SEM= Standard error of the mean.

³ Treatment effect; Time = time effect (period of 14 d); Treatment x Time = treatment without or with fan by time interaction effect.

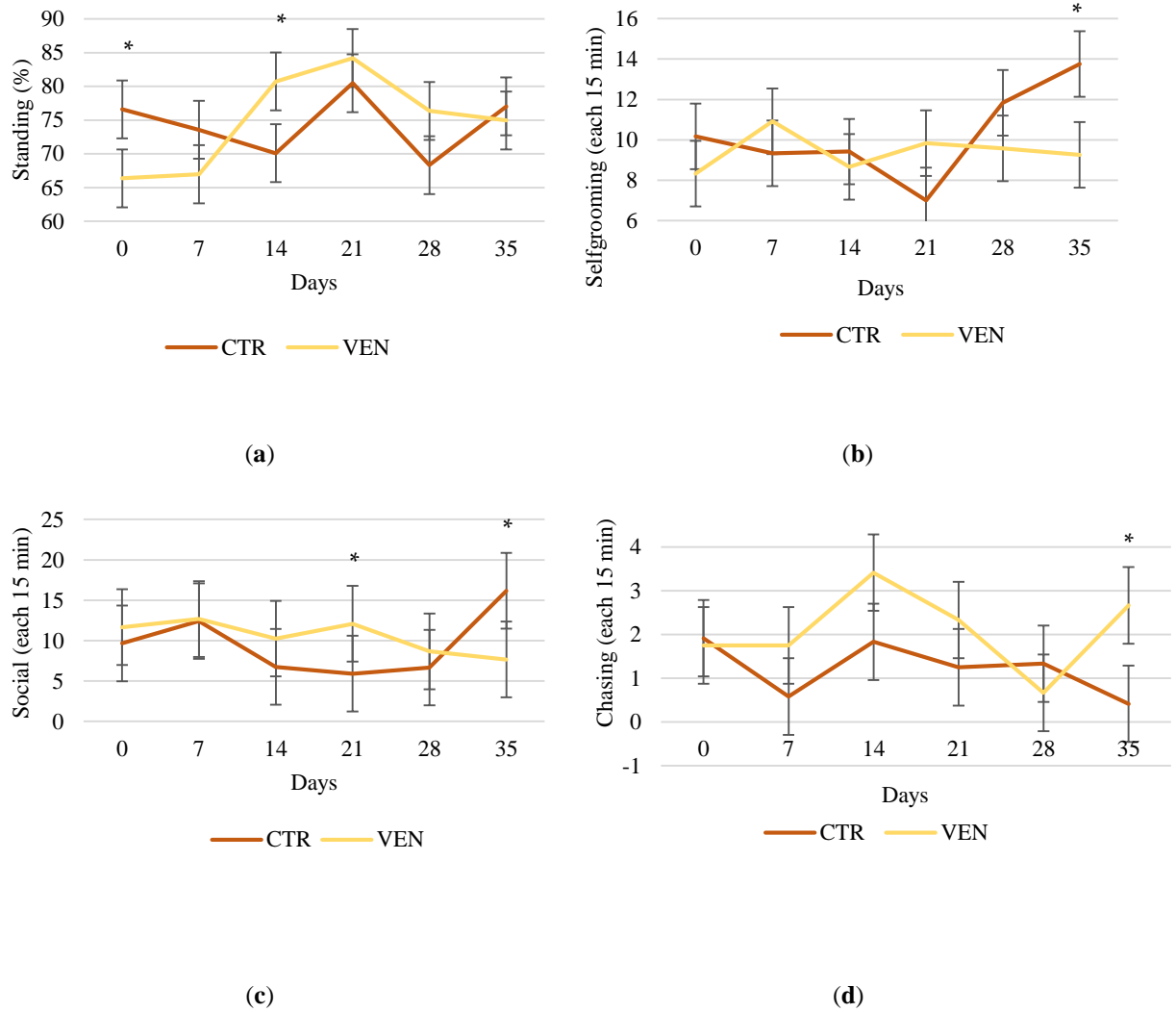


Figure 2. (a) Standing, (b) self-grooming, (c) social behavior, and (d) chasing during the finishing period (CTR = barn without natural ventilation; VEN= with natural and forced ventilation using ceiling fans) (*significant differences between treatment within the same day; $p < 0.05$).

Serum lactate concentration was greater ($p < 0.001$) for bulls in VEN pens on d 14 and 35 compared with CTR pens (Figure 3a) while on day 28 were the bulls in CTR pen that had greater concentrations of lactate compared with VEN pens. Moreover, serum concentration of CK were greater ($p < 0.05$) for bulls in VEN pens compared with bulls in CTR pens (Figure 3b).

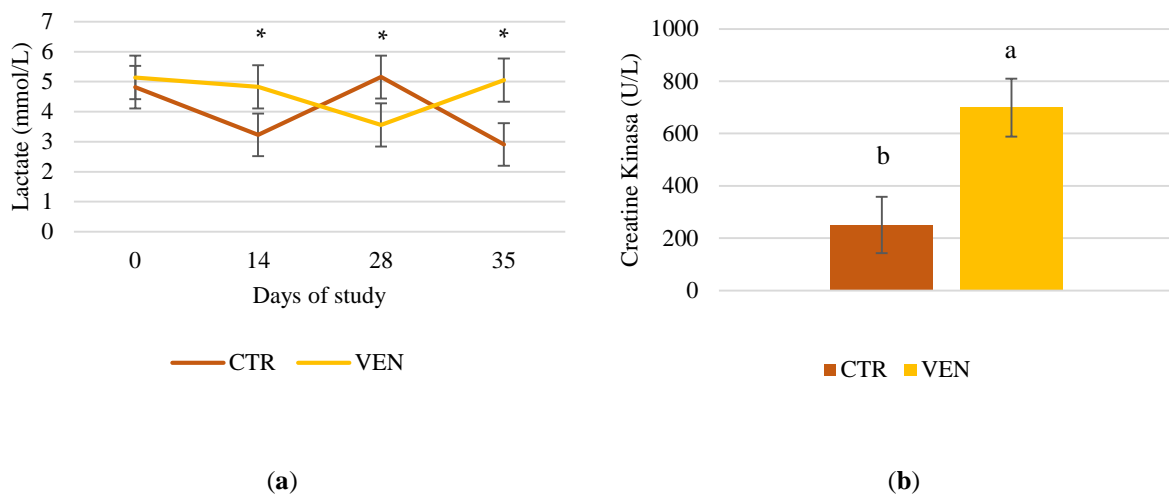


Figure 3. (a) Blood lactate concentrate and (b) creatine kinase (CTR = barn without natural ventilation; VEN= with natural and forced ventilation using ceiling fans) (*, a, y, b significant differences between treatment within the same day; $p < 0.05$).

Hot carcass weight was affected by the ventilation system (Table 5). At 24 h post-slaughter, the meat pH_u was greater ($p < 0.05$) for bulls in CTR pens compared with VEN pens. Instrumental color at 24h post-slaughter after 30 min blooming showed that L* of bulls in VEN pens tended to be darker ($p < 0.10$) compared with bulls of CTR pens; and the a* and b* of bulls in VEN were also greater ($p < 0.05$) compared with bulls in CTR pens.

Table 5. Carcass quality, meat pH, instrumental color and color stability of a subset (n=48) of finishing bulls allocated in a natural ventilated barn (CTR) and a barn with natural and forced ventilation using ceiling fans (VEN).

Item	Treatment ¹		SEM ²	p-value ³		
	CTR	VEN		T	Time	T x Time
Number of animals	24	24	-	-	-	-
pH (24h)	5.9 ^a	5.6 ^b	0.21	0.02	-	-
Slaughter age	381	385	14.1	0.63	-	-
HCW, kg	282	284	21.9	0.59	-	-
Conformation ⁴ ,%				0.75	-	-
E	4.2	4.2				
U	20.8	29.2				
R	20.8	29.2				
O	41.7	33.3				
P	12.5	4.2				
Fatness ⁵ ,%				0.76	-	-
1	-	-				
2	66.7	62.5				
3	33.3	37.5				
Instrumental colour ⁶ , 24h						
L*	27.7	29.7	1.55	0.08	-	-
a*	9.6 ^b	11.1 ^a	1.33	0.02	-	-
b*	9.7 ^b	11.3 ^a	0.18	0.03	-	-
Evolution in MAP at 3, 7, 10 and 13 d						
Instrumental colour ⁷						
L*	31.9 ^b	33.6 ^a	2.88	0.02	<0.01	0.04
a*	14.4	15.2	0.95	0.11	<0.01	0.41
b*	14.2 ^b	15.3 ^a	0.25	<0.05	<0.01	0.25

^{ab} Rows with different superscripts differ ($p < 0.05$).

¹ CTR = barn without natural ventilation; VEN= with natural and forced ventilation using ceiling fans.

² SEM= Standard error of the mean.

³ Treatment effect; Time = time effect (period of 14 d); Treatment x Time = treatment without or with fan by time interaction effect.

⁴ The conformation class designated by the letter “E” (excellent) describes carcasses with all profiles convex to super-convex, and with exceptional muscle development, and the conformation classified as “U” (very good) describes carcasses with profiles on the whole convex, and with very good muscle development. The carcasses classified as “R” (good) present profiles, overall, straight and with good muscle development. Carcasses classified as “O” (fair) present profiles straight to concave and with average muscle development, and carcasses classified as “P” (poor) present all profiles concave to very concave with poor muscle development.

⁵ The carcass fat cover that classifies as 1 (low) describes none to low fat cover, the class of fat cover classified as 3 (very high) describes an entire carcass covered with fat and with heavy fat deposits in the thoracic cavity.

⁶Parameters L* (brightness), a* (tendency to red), b* (tendency to yellow), of the instrumental color at 24 h.

⁷Evolution of the parameter L* (lightness), a* (redness), b* (yellowness), of the instrumental color over the storage time (days 3, 7 10 and 13) in refrigeration and packaging in MAP (70% O₂:30% CO₂).

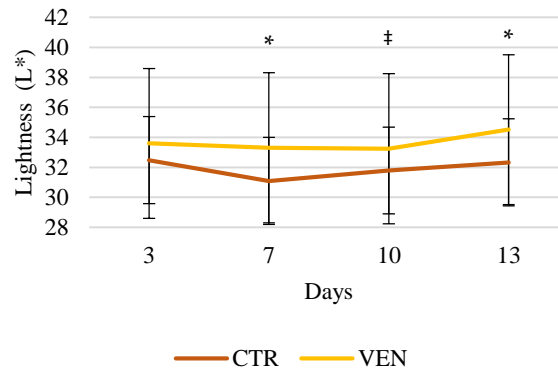


Figure 4. Evolution of lightness (L*) of meat when packaged in MAP in steaks finishing bulls allocated in a natural ventilated barn (CTR) and a barn with natural and forced ventilation using ceiling fans (VEN) (* significant differences $p < 0.05$; ‡ $p < 0.1$ between treatment within the same day).

When meat was placed in MAP, steaks of bulls in VEN pens had greater ($p < 0.05$) L* ($p = 0.04$) compared with steaks of CTR pens on day 7 and 13, and tended to be greater on d 10. In addition, an interaction ($p < 0.05$) between color stability of steaks and time placed in MAP was observed; steaks of CTR pens had greater ($p < 0.01$) odds ratio to have lower scores on day 10.

4. Discussion

This study was carried out during two consecutive years in the same farm under the same partially open barns during the summer months with crossbred dairy beef bulls at their finishing phase. The summer months in this particular area where the study was conducted are characterized by high temperatures and low humidity environmental conditions. In the recent years have been one of the areas with greater increases of heat waves and tropical nights in Spain (Servei meteorologic de Catalunya, 2023) obstructing the capacity of the animals to cool down for several days or weeks. Some authors have described the critical THI thresholds for young calves (Segnalini et al., 2011; Morignat et al., 2015), however this indicator is questioned as it does not have in consideration the heat load (Gaughan et al. 2008; Parrini et al. 2022). Although ceiling fans had worked more than 20 hours a day, they were incapable to reduce the THI inside the partially open barns. This may be an indication that that there is no need for ceiling fans to reduce heat stress when bulls are allocated in partially open barns with natural ventilation and/or that

higher temperatures are needed to be observed to see reductions of THI inside the barn. Other studies have observed slightly reductions of THI when ceiling fans were installed in one farm, however in a second farm no differences in THI when ceiling fans were installed were observed (Parrini et al. 2022). In another study THI inside the barn was higher than the ambient THI even when ceiling fans were installed (Magrin et al. 2016). Therefore, ceiling fans may increase air flow but its capacity to reduce the temperature inside the barn may be minimal. Marchesini et al. (2018) compared ceiling fans with axial fans but they did not observed differences between the two systems on average daily THI although the ceiling fans had greater airspeed at animal level. compared ceiling fans with axial fans which have greater airspeed at animal level, but they also did not observed differences between the two systems on average daily THI. The greatest effect observed in the barns with ceiling fans was the dryness of the pen bedding. Similar results were observed by Margin et al. when bulls were evaluated as the ones allocated in the pens with ceiling fans were cleaner (Magrin et al., 2016). As reported for these authors these results have a benefit for the animals as they can lie down in and cleaner and dry bedding, and for the farmers that it might reduce the frequency of bedding renewal.

In the present study animal behavior was observed during the first daylight hours of the day as bulls are more active during these hours with the hypothesis that bulls under ceiling fans would be calmer as the fans would reduce the ambient temperature so they would be more comfortable. Opposite than that, it was observed that the percentage of animals ruminating were greater in pens without ceiling fans. In addition, although it was not registered, it was observed that bulls were standing under the ceiling fans next to the separation fence between two pens most of the day (Figure 5) while in the barn without ceiling fans bulls were lying down. In the present study, the ceiling fans were mounted in the lower beam between two pens, therefore there was one ceiling fan for two pens; this standing behavior under the ceiling fans might be due to the air flow that animals felt when standing as they were closer to the fan, and instead of making them rest, promoted an increase of some activities like chasing or social behavior. Similar results were observed by Magrin et al. (2016) that observed an increase of mounting and other activities in Charolais bulls when ceiling fans were mounted in between two pens.

Therefore, further research should be conducted when each pen is provided with its own ceiling fan (a different ceiling fan allocation from the present study) to see if the animals would increase their lying time as the air flow would be in the middle of the pen instead next to the separation pen fence.



Figure 5. Animals from barn with fan (VEN) standing under the ceiling fans.

The mean serum lactate concentration was close to values reported for other authors in response to exercise (Marchesini et al., 2018). The pattern of serum lactate concentration during the study was not clear in favor of any ventilation system indicating that handling might have interfered in the serum lactate concentration values. In contrast, serum concentration of CK was greater for bulls allocated in the barn with ceiling fans that had greater activity in accordance with the results observed in behavior and performance. Higher serum CK concentrations were also observed in cattle during transport where they remain standing for hours (Knowles, 1999; Tadich, 2005).

Dry matter intake decreases during summer season in all livestock species (Abeni et al., 2007) to diminish metabolic heat production to decrease metabolic heat production (Soriani et al., 2013). Installation of ceiling fans to reduce heat production in the present study led to a 20% decrease in growth in bulls with ceiling fan pens without a reduction on feed intake or water intake compared with the natural ventilated barn. The energy

expenditure derived from the increase standing activity during many hours (data not recorded), the increased agonistic activities (chasing), the reduction of rumination and increase of stereotypes indicative of increase of stress may have caused the reduction in growth. Magrin et al. (2016) did not observe differences in growth, TMR intake or water intake in Charolais bulls allocated in barns with or without ceiling fans. However, in Marchesini et al. (2018) study when different type of fans were compared in Charolais bulls allocated in barns with ceiling fans performed better than that allocated in barns with axial fans. Other studies where cooling systems were combined (water spray and fans), it was observed a greater daily gain compared to pens without cooling systems (Garner et al. 1989).

Heat stress may result in higher pHu, which leads to less shrinkage of the myofibrillar lattice and results in a darker meat color (higher light absorption, less light scattering, higher oxygen consumption) (Węglarz, 2010; Nardone, 2010). In this study, although bulls allocated in barns with ceiling fans reduced their performance, the pHu measured 24 hours after slaughter was lower than bulls allocated in natural ventilated barns. One possible explanation could be that the air flow of the ceiling fans did reduce heat stress and therefore ceiling fans had an impact on meat pH. Another explanation could be that the higher activity and social stress to be under the ceiling fans had reduced the impact of transport stress; instead, the CTR animals that spent most of the time lying were more susceptible to transport stress influencing the pHu and the proportion of DFD meat. The pH influences meat color and tenderness due to the amount of intramuscular fat, pigment content, water holding capacity, and oxidation stress (Ferguson y Warner, 2008). Instrumental color values also are affected by carcass fatness, animal age, pH, moisture content, changes in muscle myoglobin content and intramuscular fat (Ferguson y Warner, 2008). Instrumental color 30 min after blooming showed that meat from bulls allocated in ceiling fan barns tended to be lighter, and more red and yellow and it may be due to lower intramuscular fat (not measured in the present study) in the LM due the reduction in growth observed in those bulls. Shelf life may be conditioned by the atmosphere where the meat is placed (Insausti et al., 2001). Although an interaction was observed between the use of ceiling fans and storage time on color preference on day 10 of storage time, differences in the preference score of meat packaged in MAP (mixture of

carbon dioxide, oxygen and nitrogen) was under normal range indicating that the impact of ceiling fans was minimal on shelf life.

5. Conclusions

In the present study, in contrast to the expectations, ceiling fans did not mitigate high temperatures although the air flow improved pen conditions (bedding dryness) potentially reducing bedding renewal costs. Moreover, ceiling fans impaired daily gain and behavior activities related with animal wellness (rumination decreased and stereotypes increased); if in the coming future heat waves can become more extreme these welfare problems could be exacerbated and these ceiling fans should be avoided. Finally, besides an improvement in meat pH, minimal effects of the ceiling were observed on car-cass and meat quality. Further studies are needed to elucidate if this increase of activity of the animals under the fans could be attributed to a poor design on the installation of the fans.

6. References

- Abeni, F., Calamari, L., Stefanini, L. Metabolic conditions of lactating Friesian cows during the hot season in the Po valley. 1. Blood indicators of heat stress. *Int. J. Biometeorol.* 2007, 52, 87–96. <https://doi.org/10.1007/s00484-007-0098-3>
- Agencia Estatal de Meteorología. 2023. Disponible en línea: https://www.aemet.es/es/lineas_de_interes/datos_y_estadistica. Consultado el 7 de abril del 2023.
- Armstrong, D. V. 1994. Heat Stress Interaction with Shade and Cooling. *J. Dairy Sci.* 77:2044–2050. doi:10.3168/jds.S0022-0302(94)77149-6. Available from: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77149-6](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77149-6)
- Brscic, M., Gottardo, F., Tessitore, E., Guzzo, L., Ricci, R., Cozzi, G. Assessment of welfare of finishing beef cattle kept on different types of floor after short-or long-term housing. *Anim.* 2015, 9, 1053–1058. <https://doi.org/10.1017/S1751731115000245>
- Calegari, F., Calamari, L., Frazzi, E. Fan cooling of the resting area in a free stalls dairy barn. *Int. J. Biometeorol* 2014, 58, 1225–1236. <https://doi.org/10.1007/s00484-013-0716-1>
- Commission Internationale de l'Éclairage. Recommendations on uniform color spaces-color difference equations. Psychometric color terms. Commission Internationale de l'Éclairage, Paris, France. 1978
- Devant, M.; Penner, G.B.; Marti, S.; Quintana, B.; Fábregas, F.; Bach, A.; Arís, A. Behavior and inflammation of the rumen and cecum in Holstein bulls fed high-concentrate diets with different concentrate presentation forms with or without straw supplementation. *J. Anim. Sci.* 2016, 94, 3902–3917. doi:10.2527/jas.2016-0594.
- Ferguson, D. M.; Warner, R. D. Have we underestimated the impact of pre-slaughter stress on meat quality in ruminants? *Meat Sci.* 2008, 80, 12–19. doi:10.1016/j.meatsci.2008.05.004.
- Fregley, M.J. Adaptations: some general characteristics. In: Fregley, M.J., Blatteis, C.M. (Eds.), *Handbook of Physiology, Section 4: Environ. Physiology* 1996, Vol. I. Oxford University Press, 3–15.

- Garner, J. C.; Bucklin, R. A.; Kunkle, W. E. and Nordstedt, R. A. 1989. Sprinkled water and fans to reduce heat stress of beef cattle. *Applied Engineering in Agriculture* 5:99-101.
- Gaughan, J.B., Mader, T.L., Holt, S.M., Lisle, A. A new heat load index for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 2008, 86, 226–234. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0305>
- Hughes, J. M.; Clarke, F. M.; Purslow, P. P.; Warner R. D. Meat color is determined not only by chromatic heme pigments but also by the physical structure and achromatic light scattering properties of the muscle. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2020, 19, 44–63. doi:10.1111/1541-4337.12509.
- Insausti, K.; Beriain, M. J.; Purroy, A.; Alberti, P.; Gorraiz C.; Alzueta, M. J. Shelf life of beef from local Spanish cattle breeds stored under modified atmosphere. *Meat Sci.* 2001, 57, 273- 281.
- Jeelani, R., Konwar, D., Khan, A., Kumar, D., Chakraborty, D., Brahma, B., 2019. Reassessment of temperature-humidity index for measuring heat stress in crossbred dairy cattle of a sub-tropical region, *Journal of thermal biology*, 82, 99-106.
- Kadim, I. T., Mahgoub, O., Al-Ajmi, D. S., Al-Maqbaly, R. S., Al-Mugheiry, S. M., & Bartolome, D. Y. (2004). The influence of season on quality characteristics of hot-boned m. longissimus thoracis. *Meat Science*, 66, 831–836.
- Knowles, T. G. A review of the road transport of cattle. *Vet. Rec.* 1999, 144, 197-201.
- Mach, N., A. Bach, C. E. Realini, M. Font i Furnols, A. Velarde, and M. Devant. 2009. Burdizzo pre-pubertal castration effects on performance, behaviour, carcass characteristics, and meat quality of Holstein bulls fed high-concentrate diets. *Meat Sci.* 81:329–334. doi:10.1016/j.meatsci.2008.08.007. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.08.007>
- Mach, N.; Bach, A.; Velarde, A.; Devant, M. Association between animal, transportation, slaughterhouse practices, and meat pH in beef. *Meat Sci.* 2008, 78, 232–238. doi:10.1016/j.meatsci.2007.06.021.
- Mader, T. L., S. M. Holt, G. L. Hahn, M. S. Davis, and D. E. Spiers. Feeding strategies for managing heat load in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 2002, 80, 2373–2382.

- Magrin, L., Brscic, M., Lora, I., Rumor, C., Tondello, L., Cozzi, G., Gottardo, F., 2016. Effect of a ceiling fan ventilation system on finishing young bulls' health, behaviour and growth performance. *Animal* 11, 1084–1092.
- Marchesini, G., Cortese, M., Mottaran, D., Ricci, R., Serva, L., Contiero, B., Segato, S., Andrighetto, I. Effects of axial and ceiling fans on environmental conditions, performance and rumination in beef cattle during the early fattening period. *Livest. Sci.* 2018, 214, 225–230. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.06.009>
- Marti, S., Jackson, J. A., Sloomans, N., Lopez, E., Hodge, A., Pérez-Juan, M., Devant, M., & Amatayakul-Chantler, S. (2017). Effects on performance and meat quality of Holstein bulls fed high concentrate diets without implants following immunological castration. *Meat science*, 126, 36–42. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.11.013>
- Mazzenga A., Gottardo F., Cozzi G. Effect of hot season and type of floor on the microclimate conditions in the pens of beef cattle intensive farms. *Dipartimento di Scienze Animali, Università degli Studi di Padova. Acta Agraria Kaposváriensis* 2006, 10 (2), 121-125.
- Morignat, E., E. Gay, J. L. Vinard, D. Calavas, and V. Hénaux. 2015. Quantifying the influence of ambient temperature on dairy and beef cattle mortality in France from a time-series analysis. *Environ. Res.* 140:524–534. doi:10.1016/j.envres.2015.05.001. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2015.05.001>
- Nardone, A., B. Ronchi, N. Lacetera, M. S. Ranieri, and U. Bernabucci. 2010. Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livest. Sci.* 130:57–69. doi:10.1016/j.livsci.2010.02.011. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2010.02.011>
- Observatorio de Sostenibilidad. 2023. Disponible en línea: <https://www.observatoriosostenibilidad.com> Consultado el: 7 de abril del 2023.
- Paniagua, M., Crespo J., Bach A., Devant M. Effects of flavonoids extracted from *Citrus aurantium* on performance, eating and animal behaviour, rumen health, and carcass quality in Holstein bulls fed high-concentrate diets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2018, 246, 114–126. doi:10.1016/j.anifeedsci.2018.08.010. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.08.010>

- Parrini, S., Sirtori, F., Fabbri, M.C., Dal Prà, A., Crovetto, A., & Bozzi, R. Effects of a Ceiling Fan Ventilation System and THI on Young Limousin Bulls' Social Behaviour. *Animals an Open Access Journal from MDPI*, 2022, 12.
- Reay, D., C. Sabine, P. Smith, and G. Hymus. 2007. Intergovernmental Panel on Climate Change. Fourth Assessment Report. Geneva, Switzerland: Inter-governmental Panel on Climate Change. Cambridge; UK: Cambridge University Press; 2007. Available from: www.ipcc.ch.
- Rowlinson. 2008. Adapting livestock production systems to climate change – temperate zones. P.
- Sánchez, D., S. Martí, M. Verdú, J. González, M. Font-i-Furnols, and M. Devant. 2022. Characterization of Three Different Mediterranean Beef Fattening Systems: Performance, Behavior, and Carcass and Meat Quality. *Animals*. 12:1–15. doi:10.3390/ani12151960.
- Scientific Committee on Animal Health and Animal Welfare (SCAHAW) 2001. The welfare of cattle kept for beef production. Retrieved January 9, 2014, from http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scah/out54_en.pdf
- Segnalini M, Nardone A, Bernabucci U, Vitali A, Ronchi B, Lacetera N (2011) Dynamics of the temperature-humidity index in the Mediterranean basin. *Int J Biometeorol* 55:253–263
- Servei meteorologic de Catalunya. 2023. Disponible en línea: <https://www.meteo.cat/wpweb/climatologia/canvi-climatic-i-evolucio-futura-del-clima/el-canvi-climatic/>. Consultado el 7 de abril del 2023
- Soriani, N., Panella, G., Calamari, L. Rumination time during the summer season and its relationships with metabolic conditions and milk production. *J. Dairy Sci.* 2013, 96, 5082–5094. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6620>
- Sprott, L. R., G. E. Selk, and D. C. Adams. 2001. Factors affecting decisions on when to calve beef females. *Prof. Anim. Sci.* 17:238–246.
- Tadich, N., Gallo, C., Bustamante, H., Schwerer, M., van Schaik, G., 2005. Effects of transport and lairage time on some blood constituents of Fresian-cross steers in Chile. *Livest. Prod. Sci.* 93, 223–233.

- Thornton, P. K., M. Herrero, H. A. Freeman, A. O. Mwai, E. Rege, P. G. Jones, and J. McDermott. 2007. Vulnerability, climate change and livestock--opportunities and challenges for the poor. 4:1–23.
- Vitali, A., M. Segnalini, L. Bertocchi, U. Bernabucci, A. Nardone, and N. Lacetera. 2009. Seasonal pattern of mortality and relationships between mortality and temperature-humidity index in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 92:3781-3790.
- Węglarz, A. Meat quality defined based on pH and colour depending on cattle category and slaughter season. *Czech J. Anim. Sci.* 2010, 55, 548–556. <https://doi.org/10.17221/2520-CJAS>

CAPITULO V

The effect of lairage time at the slaughterhouse after a short or long transport in dairy beef bulls on animal behavior, carcass quality and meat quality



SUMMARY

Several stressors such as handling, transport and lairage time at the slaughterhouse are common practices in pre-slaughter cattle management. Those managements may compromise animal welfare and carcass and meat quality; some studies are focused on the effect of the transport while others are only focused on the lairage time. Depending on the duration of the journey, extended lairage times increase aggressiveness and agonistic behaviors of cattle, and reduce their resting time. In this study, conducted under Spanish commercial conditions, different lairage times were evaluated considering two types of transports by road, short (3 hours) and long (10 hours). Results indicated that cattle increased their resting during the first 6 hours of lairage after short transports, while they reduced their resting time and increased their active behavior after a long transport. However, the impact on meat quality was almost negligible.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effect of lairage time of bulls before slaughter, after a short (3 hours) or long (10 hours) transport. A total of 8 commercial livestock trucks per transport distance were loaded with Holstein crossbred bulls (12-13 mo old) and followed from commercial fattening farms to a slaughterhouse over a year in 4 replicates. At the abattoir each truck was split in two treatments: short lairage time (SLT; 1-2 hours) and long lairage time (LLT; 7-8 hours). Animal behavior at the lairage was recorded, a blood sample was collected at exsanguination for stress biomarkers (beta-hydroxybutyrate and creatine kinase) and glucose level analysis, and meat samples from the Longissimus lumborum were collected to measure instrumental color, ultimate pH, and the evolution of color and microbiology during shelf life in modified atmosphere packaging-MAP. No differences were observed in meat quality (pHu, instrumental color, color perception) and microbiology among the effects of transport duration and lairage time. However, short lairage times prior to cattle slaughter when transports are longer than 10 h based on behavior indicators it might favor their welfare.

Keywords: meat pH, lairage time, animal behavior, transport in cattle

1. Introduction

Some level of stress is experienced prior to slaughter in animals destined to produce meat (Ferguson and Warner, 2008). However, the type, duration and intensity of the stress, together with the susceptibility of the animals to it, will determine the magnitude of the stress (Ferguson et al., 2001). The pre-slaughter stage combines different phases since when the animals are loaded at farm until they are stunned at the knocking box at the slaughterhouse (Ferguson and Warner, 2008). Each one of these phases may compromise animal welfare (Gebresenbet et al., 1998; Terlouw et al., 2008) which could negatively affect beef car-cass and meat quality (Dalmau et al., 2009; Honkavaara and Korteniemi, 1994). Some of the challenges that animals suffer during the pre-slaughter phase comprises unfamiliar environments and scenarios, such as an intensive handling and human contact, food and water deprivation, changes in social structure, and changes in climatic conditions (Ferguson and Warner, 2008). Some of the consequences that animals may suffer during those challenges are fear, dehydration and hunger, increase of physical activity and fatigue causing physical injury (Eldridge et al., 1989; Terlouw et al., 2008).

It is well described that animal transportation causes physical, psychological and climatic stress, being the magnitude of the stress directly proportional to the intensity and duration of the causing factors (Earley et al., 1989). Some authors have described that transport within moderate distances (< 400 km) and short duration (< 4 h) is unlikely to affect pHu (Eldridge and Winfield, 1988; Tarrant, 1989; Tarrant et al., 1992; Grandin, 2000). But, when cattle are transported over much larger distances (> 2000 km) or durations (> 24 h) small increases of ultimate pH (pHu) can be observed, indicating a positive tendency for dark cutting incidence (Tarrant, 1989; Wythes et al., 1981). However, the ultimate pH could significantly increase depending on several factors, such as the type of animal (genetics, sex, weight, age), the road conditions, the waiting time before unloading the animals, thus increasing the transport duration, the stocking density, or the lairage time, among others. Under Spanish commercial conditions, 63% of the cattle destined to slaughter weighted between 326 and 550 kg with a high percentage of young bulls (Averós et al., 2011). Also, it is described that more than 75% of the

transports to the slaughterhouse lasted less than 3 h, and that 21% lasted more than 8 h. Only 26% of them used motorway as often, due to economic reasons, cattle are slaughtered in slaughterhouses closer to the farms (Averós et al., 2011). These conditions are different than most of the studies published in the literature where journey time and lairage are longer (Gallo et al., 2003; Teke et al., 2014) than in the Spanish conditions.

Ferguson and Warner (2008) described lairage time as one of the phases where stress can escalate significantly depending on the length and conditions at lairage. Additionally, the inability of the animals to resolve the stress caused by previous challenges as transportation may produce further physiological distress during lairage. Although some authors have shown that behavior, physiological and metabolic status of cattle was similar to the basal one prior to transport when lairage lasted up to 24-48 h (Warriss et al., 1984; Knowles, 1999; Mounier et al., 2006); other authors have observed that reducing lairage time decreased the probability of incidence of dark cutting meat, due to a reduced energy reservoir loss and muscle glycogen degradation (Loredo-Osti et al., 2019). Considering the overall Spanish production system, the lairage time is mostly shorter than 24 h and therefore lairage may have a negative impact due to the inability of animals to recover. Furthermore, our production system fattens a high percentage of young bull calves; this type of cattle has great agonistic and sexual interactions that during transport and at the lairage can cause additional fatigue and glycogen depletion (Kenny and Tarrant, 1987) having a big impact on pHu and meat quality characteristics such as color, texture, flavor, water-holding capacity and shelf life of the meat (Hoffman et al., 1998). Therefore, a reduction of lairage time may benefit the quality of the meat.

Fasting before slaughter decreases muscle glycogen and as long is that feed deprivation period lower is the levels of muscle glycogen. When an animal also needs to do work such the effort to stay still during the journey, the muscle depletion is further accelerated (Warriss, 1990). The level of muscle glycogen before slaughter determines the reduction of meat pH which reaches its lower level approximately 24 h after slaughter (Sanz et al., 1996). Therefore, the meat of a muscle low in glycogen will have higher pH and darker color (Wirth, 1987), indicating that those animals have been fasted for many hours and/or were physically exhausted at the moment of slaughter. Meat with these

characteristics will be less visually acceptable to consumers and it is also more prone to microbial contamination (Brown et al., 1990; Narbona, 1995; Warriss, 2000).

Considering that the impact of lairage time on animal recovery and meat quality, we expected that short lairage time would reduce aggressive behaviors and therefore reduce the risk of dark, firm and dry (DFD) meat compared with long lairage time in commercial raised dairy beef bulls. We expected that the effect of a short lairage time on meat quality would be more evident in animals arriving after a long transport duration as this long journey could predispose by itself the DFD incidences. For this reason, this hypothesis was tested under two transport distances (short and long). The aim of this study was to evaluate the effect of lairage time before slaughter in crossbred bulls after a short or long transport.

2. Materials and Methods

This study was conducted in accordance with the Spanish guidelines for experimental animal protection (Real Decreto 53/2013 of 1 February on the protection of animals used for experimentation or other scientific purposes; Boletín Oficial del Estado, 2013).

2.1. Study 1. Short length transports (3 h)

Eight commercial livestock trucks loaded with a total of 334 Holstein bulls (12-13 mo old) were involved commercial fattening farms (Lleida, Spain) to a slaughterhouse (Vic, Spain) over a year in 4 replicates. Transport duration and distance were 3 hours and 175 km, approximately. Two trucks (approximately 40-42 animals/truck) were followed in each replicate. At arrival to the slaughterhouse, animals were unloaded (between 10:30 and 11:00 for study 1) and allocated into lairage pens of 20 m² (1.9 m²/animal approximately).

2.2. Study 2. Long length transports (10 h)

Similarly, eight commercial livestock trucks loaded with a total of 343 of Holstein and crossbred bulls (12-13 mo old) were involved from commercial fattening farms (Lleida, Spain) to a slaughterhouse (Buñol, Spain) over a year in 4 replicates. Transport

duration and distance were 10 hours and 340 km, approximately. Two trucks (approximately 41-43 animals/truck) were followed in each replicate. At arrival to the slaughterhouse, animals were unloaded (between 05:00 and 06:00 for study 2) and allocated into lairage pens of 65.8 m² (2.6 m²/animal approximately).

2.3. *Animals and data collection*

The methodology and data collection were similar for both studies. At arrival to the slaughterhouse they were randomly assigned to one of two treatments according to the time spending at the lairage before slaughter: short lairage time (SLT; between 1 to 2 hours at the lairage pens before slaughter) and long lairage time (LLT; between 7 to 8 hours at the lairage pens before slaughter).

2.3.1. *Animal Behavior*

Since the animals from the SLT treatments were slaughtered in a short period of time, animal behavior at the lairage was observed only from the animals of LLT treatment. Animal behavior was recorded for each pen during the first 6 hours at the lairage (H1, H2, H3, H4, H5, H6) (Paniagua et al., 2019). The general activity was recorded by scan sampling and included postures as standing or lying, drinking and rumination. General activities were recorded using 4 scan samplings of 10 s at 5 min intervals (Devant et al., 2016). Moreover, non-agonistic interactions and agonistic behaviors were recorded during three continuous sampling periods of 5 min, with 15 min of each sampling and repeated twice for each pen, starting randomly in a different pen each scanning (Table 1).

Table 1. Description of interactions observed from general activities, agonistic and non-agonistic interaction of animals waiting at the lairage during 6 hours at the slaughterhouse.

Interaction	Definition
General activities	
Standing	Standing was recorded when the animal was standing on its 4 legs, independently of any activity the animal might perform.
Lying	Lying was recorded as soon as the animal was not standing on its 4 legs, independently of any activity the animal might perform.
Drinking	Drinking was recorded when the animal had its mouth in the water bowl. An observation was recorded as drinking when the bull was with its muzzle in the water bowl or swallowing the water.
Ruminating	Ruminating, included the regurgitation, mastication, and swallowing of the bolus.
Non-agonistic interactions	
Self-grooming	Non-stereotyped licking of its own body, scratching with a back limb or against the fixtures.
Oral non-nutritive behavior	Licking or biting fixtures with non-nutritive finality.
Agonistic interactions	
Fighting	When bulls pushed vigorously head against head.
Butting	When one bull push vigorously its head against any part of another bull's body.
Displacement	When one bull jostle itself between 2 other bulls or between a bull and any equipment.
Chasing	When a bull follow fast or run behind another bull.
Chasing-up	When a bull push a resting animal and make him to stand up.
Sexual interactions	
Flehmen	Upper lip reversed.
Attempted mounts	Head on the back of another animal.
Completed mounts	Forelimbs on the back of another animal.
Stereotypies	
Oral stereotypies	Tongue rolling, stereotyped licking or biting any equipment.

2.3.2. Blood sample collection and analyses

Blood samples were collected during the exsanguination from all animals using a plastic container and rapidly placed into a 10 mL non-additive tube (BD Vacutainer, Plymouth, UK) for beta-hydroxybutyrate (BHB) and creatine kinase (CK) analysis. Another 6 mL of blood were collected and placed into a tub containing sodium fluoride (BD Vacutainer, Plymouth, UK) for glucose analysis. All samples were centrifuged at 2,000 g for 15 min and stored at -20 °C for further analyses. Serum concentration of glucose measured was determined following the hexokinase method (OSR 6121, Beckman Coulter Inc.) A kinetic enzymatic method (Randox Laboratories Ltd.) was used to determine serum BHB concentration. Serum CK catalytic concentration was

determined by the IFCC kinetic method (OSR 6179, Beckman Coulter Inc.). Glucose, BHB and CK were determined in a Beckman Coulter AU analyzer.

2.4. Carcass sample collection

Animals were slaughtered following commercial practices according to the EU Regulation 1099/2009 using a captive-bolt pistol for stunning and dressed according to commercial practices. Hot carcass weight (HCW) was registered for each animal. Carcasses were classified according to its conformation into (S)EUROP categories and fatness into 1.2.3.4.5 categories, according to the EU classification system (EU Regulation No. 1208/81).

2.5. Meat quality

A total of 96 animals (6 animals/treatment/truck) for each study were selected to represent the normal distribution of the BW within the group, for the subsequent analysis of meat quality. After 30 to 36 h post-mortem, carcass pH was measured by a pH meter (pH 25 DL; Crison, Alella, Spain) with a xerolyt penetration probe in the *Longissimus lumborum* (LL), between the lumbar vertebrae L4 and L5 of the left carcass. Measurements of pH above 5.8 were indicative of dark, firm, and dry (DFD) meat (Hughes et al., 2020), according to the Spanish meat industry carcass penalization (Mach et al., 2008).

From each carcass, LL samples between L2 and L4 were obtained in the cutting plant after the pH measurement. They were vacuum packaged and transported to IRTA's pilot plant (Monells, Girona, Spain), and after 5-6 d kept at 3 °C they were cut in steaks of 2.5 cm width starting at last rib level. In the first LL sample, instrumental color was measured on the exposed cut surface after 30 min blooming, using a Minolta spectrophotometer (CM-600d, Minolta Inc., Osaka, Japan) in the CIE-LAB space (Commission Internationale de l'Éclairage, 1978) with illuminant D65 and 10° viewing angle for L* (lightness), a* (redness), and b* (yellowness). Thereafter, the four consecutive steaks were individually packaged in MAP (70% O₂:30% CO₂) with polypropylene trays, to

obtain the samples considering the shelf life analysis on days 1, 5, 8 and 12 after packaging. The MAP steaks were displayed for 12 d in a cooler illuminated room (5 ± 0.5 °C), with a homogeneous fluorescent light (illuminated with 900 lx fluorescent lighting), activated for 12 h a day in order to evaluate the evolution of instrumental color, color perception and microbiology at d 1, 5, 8 and 12. A group of trained panelists evaluated the color perception using a 5-point scale (color perception: 1: highly undesirable, 2: moderate undesirable, 3: slightly desirable, 4: moderately desirable and 5: highly desirable). Microbiology counts were carried out from MAP samples each target day in order to determine enterobacteriaceae (REBECCAREB, 37 °C, 24 h), mesophiles (PCA, 30 °C, 72 h), lactic acid bacteria (MRS, 30 °C anaerobiosis, 72 h) and psychrophiles (PCA, 8 °C, 10 d).

2.6. Statistical analyses

The design of the study was a randomized complete block design. The HCW, meat pH and instrumental color at 30-36 h after slaughter, glucose, BHB and CK were analyzed using a mixed effect model (SAS version 9.4, SAS Inst., Inc., Cary, NC) with lairage time as a main effect and truck and day as random effect. Glucose, BHB and CK were log-transformed to achieve a normal distribution. Conformation and fatness, and percentage of DFD meat were analyzed using the Chi-square model of SAS (version 9.4, SAS Inst., Inc., Cary, NC). Instrumental color in MAP and microbiology data were analyzed using a mixed model with repeated measures (SAS version 9.4, SAS Inst., Inc., Cary, NC) with lairage time and storage time and its interaction as main effects, truck and day as random effect, and temperature of the cooler as covariate. Color perception score was analyzed using glimmix with Laplace method and multi distribution. Regarding the behavioral data, general activities were calculated as percentage, and data from agonistic and non-agonistic behaviors were transformed into root-square to achieve normal distribution. Behavioral data were analyzed using a mixed model (SAS version 9.4, SAS Inst., Inc., Cary, NC) with hours at the lairage as main effect, truck and day as random effect and number of animals per pen as covariate.

3. Results

3.1. Study 1. Short length transports (3 hours)

3.1.1. Animal Behavior

Percentage of animals standing at the lairage pens decreased ($p < 0.001$) as hours at the lairage increased (Figure 1). All animals in the pen remained standing during the first hour (H1), and 6 hours later it decreased and 66% of the animals were standing at the lairage pen. Contrary, percentage of animals ruminating increased from 22.4% to 36.3% ($p < 0.001$) as hours at the lairage increased (Figure 1).

Furthermore, the only behavior that evolved ($p = 0.02$) with hours at the lairage was the non-nutritive oral behaviors being greater at H1, H4 and H5, and lower at H3 and H6 (Table 2).

Table 2. Social behavior (counts every 15 min) of bulls at the lairage pens during 6 h of lairage time at the slaughterhouse after a short transport (3 hours).

Item	Lairage time						SEM ¹	<i>p</i> -value ²
	H1	H2	H3	H4	H5	H6		Lairage hours
Social behavior								
Self-grooming	0.8	0.6	0.8	0.6	0.6	0.5	0.11	0.34
Social	2.3	2.2	2.4	2.2	2.2	2.2	0.17	0.69
Oral	3.4 ^a	2.6 ^b	2.9 ^{bc}	3.0 ^{ab}	3.1 ^{ab}	2.5 ^{bc}	0.28	0.02
Fighting	0.2	0.5	0.3	0.3	0.4	0.5	0.13	0.27
Butting	0.3	0.1	0.3	0.3	0.2	0.4	0.19	0.13
Displacement	0.9	0.8	1.0	0.8	0.9	0.8	0.11	0.91
Chasing	0.1	0.3	0.5	0.2	0.3	0.2	0.18	0.10
Chasing-up	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.22	0.51
Flehmen	0.3	0.2	0.2	0.4	0.3	0.4	0.08	0.50
Attempt to mount	0.8	1.0	0.7	0.6	0.8	0.5	0.29	0.19
Complete mount	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.09	0.67
Stereotype	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.04	0.78

^{a,b,c} Rows with different superscripts differ ($p < 0.05$).

¹SEM= Standard error of the mean obtained from root-square transformed data

² *p*-value of root-square transformed data

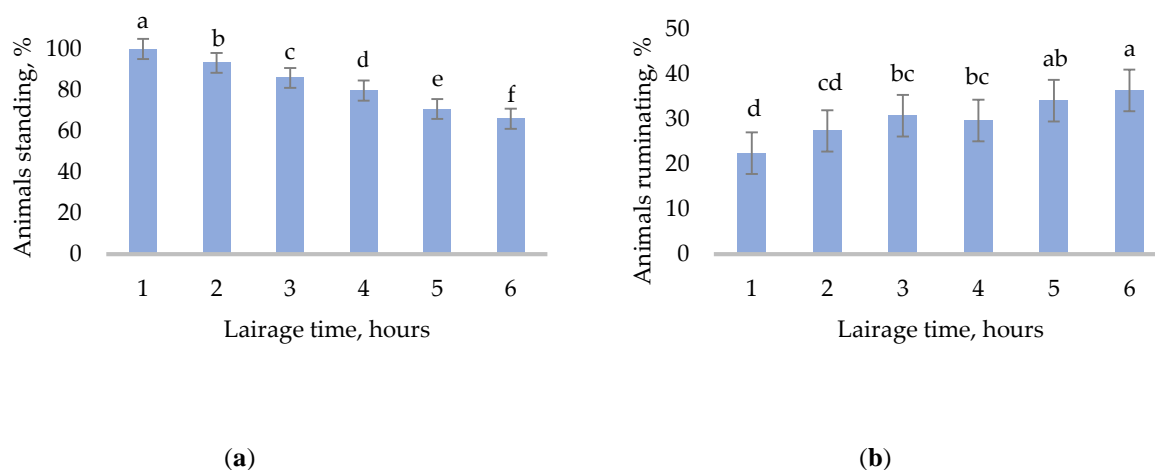


Figure 1. Standing (a) and ruminating (b), of bulls at the lairage pens during 6 h of lairage time at the slaughterhouse after a short transport (different superscripts indicate significant differences $p < 0.05$)

3.1.2. Physiological parameters in blood

Plasma glucose concentration analyzed in blood samples obtained immediately after slaughter was greater ($p = 0.03$) for LLT than SLT bulls (Table 3). No differences were observed in BHB and CK serum concentration between treatments.

Table 3. Blood parameter measured in a subset of bulls that spent a short lairage time (SLT) and long lairage time (LLT) at the slaughterhouse pens after 3 hours of transport.

Item	Lairage time ¹		SEM ³	<i>p</i> -value ⁴ Lairage time
	SLT ²	LLT ²		
Number of animals	47	44		
Glucose, mg/dL	98.5 ^b	104.1 ^a	0.17	0.03
BHB, mmol/L	0.2	0.2	0.06	0.50
CK, U/L	529.3	660.5	0.08	0.12

^{ab} Rows with different superscripts differ ($p < 0.05$).

¹ SLT = short lairage time: 1-2 hours; LLT= long lairage time: 7-8 hours.

² Mean values were transformed from log data.

³ SEM: Standard error of the mean of the log-transformed data.

⁴ *p*-value of log-transformed data.

3.1.3. Carcass and meat quality

The HCW, conformation and fatness distribution did not differ between animals with SLT and LLT treatments (Table 4). When comparing meat pH_u and presence of DFD meat at 30-36 h after slaughter no differences were observed between treatments (Table 5). However, L*, a* and b* measured 30-36 h after slaughter were greater ($p < 0.01$) for SLT compared with LLT (Table 5).

Table 4. Carcass quality of a subset of bulls that spent a short lairage time (SLT) and long lairage time (LLT) at the slaughterhouse pens after 3 hours of transport.

Item	Lairage time ¹		SEM ²	<i>p</i> -value
	SLT	LLT		Lairage time
Number of animals	176	158		
Hot Carcass weight, kg	243.7	256.5	20.35	0.19
Conformation ³ , %			-	0.86
E	-	-		
U	-	-		
R	7.4	7.0		
O	83.5	85.4		
P	9.1	7.6		
Fatness ⁴ , %			-	0.15
1	0.0	1.3		
2	65.3	58.2		
3	34.7	40.5		

¹ SLT = short lairage time: 1-2 hours; LLT= long lairage time: 7-8 hours.

² SEM= Standard error of the mean.

³ The conformation class designated by the letter “E” (excellent) describes carcasses with all profiles convex to super-convex, and with exceptional muscle development, and the conformation classified as “U” (very good) describes carcasses with profiles on the whole convex, and with very good muscle development. The carcasses classified as “R” (good) present profiles, overall, straight and with good muscle development. Carcasses classified as “O” (fair) present profiles straight to concave and with average muscle development, and carcasses classified as “P” (poor) present all profiles concave to very concave with poor muscle development.

⁴ The carcass fat cover that classifies as 1 (low) describes none to low fat cover, the class of fat cover classified as 3 (very high) describes an entire carcass covered with fat and with heavy fat deposits in the thoracic cavity.

Table 5. Meat pH, instrumental color and microbiology of a subset of bulls that spent a short lairage time (SLT) and long lairage time (LLT) at the slaughterhouse pens after 3 hours of transport.

Item	Lairage time ¹		SEM ²	p-value		
	SLT	LLT		Lairage time	Storage time	Lairage time x Storage time
Number of animals	160	137				
Meat pH, 30-36 h	5.57	5.60	0.019	0.11	-	-
DFD ³ meat, %						
No presence	95.2	95.1	-	0.96	-	-
Presence	4.8	4.9				
Instrumental color ⁴ , 30-36 h						
L*	29.9 ^a	27.7 ^b	0.89	< 0.01	-	-
a*	14.7 ^a	13.4 ^b	0.96	< 0.01	-	-
b*	15.3 ^a	13.5 ^b	0.97	< 0.01	-	-
Number of animals	42	36				
Meat parameters at 5, 8 and 12 d						
Instrumental color ⁴ in MAP						
L*	32.9	31.4	1.37	0.19	< 0.01	0.15
a*	15.9	16.6	0.66	0.30	< 0.01	< 0.01
b*	16.9	17.0	0.66	0.72	< 0.01	< 0.01
Number of animals	18	11				
Microbiology ⁵ , log CFU/g						
Enterobacteria	1.4	1.1	0.14	0.10	< 0.01	0.24
Mesophiles	4.8	4.8	0.53	0.99	< 0.01	0.78
Lactic acid bacteria	2.2	2.3	0.65	0.47	< 0.01	0.39
Psychrophiles	5.1	5.1	0.71	0.94	< 0.01	0.63

^{a,b} Rows with different superscripts differ ($p < 0.05$).

¹ SLT = short lairage time: 1-2 hours; LLT= long lairage time: 7-8 hours.

² SEM= Standard error of the mean.

³ DFD: dark, firm, and dry meat.

⁴ Instrumental color: L*= lightness, a*= redness, and b*= yellowness.

⁵ Microbiology (CFU/g) in modified atmosphere (MAP) (70% O₂: 30% CO₂) evaluated at d 1, 5, 8 and 12.

When samples were stored in MAP and placed in a cooler for 12 days, results from instrumental color showed an interaction between lairage time and storage time (Table 5). On d 12 of storage, the last day of the evaluation, a* was greater ($p < 0.01$) in LLT compared with SLT; b* values were greater ($p < 0.01$) for SLT compared with LLT on d 1 of MAP (Figure 2). When meat was stored in MAP no differences were observed in color perception between storage time and lairage time. However, it was observed a storage time effect with greater ($p < 0.01$) odds ratio to have higher scores when the time in MAP was shorter. Finally, no differences were observed for the microbiology analysis of meat storage in MAP on d 1, 5, 8 or 12 (Table 5).

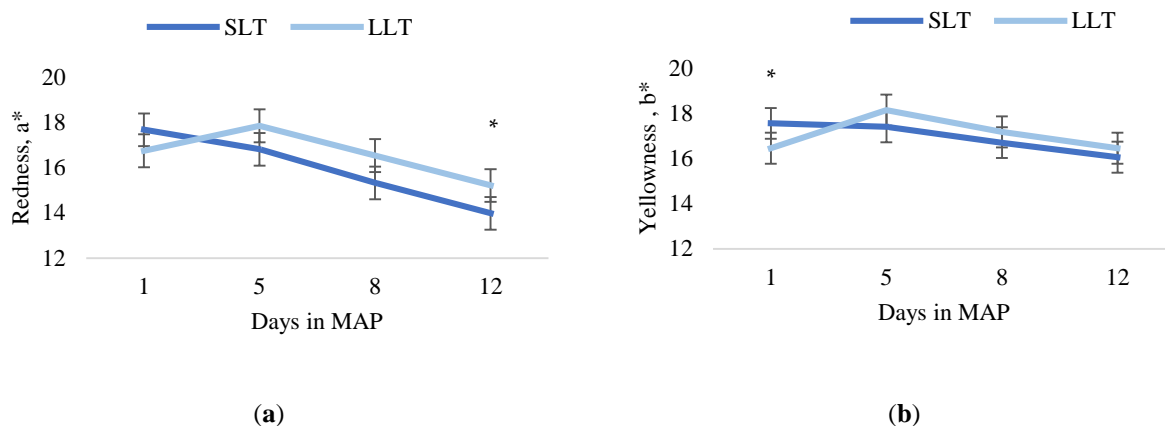


Figure 2. Evolution of the instrumental color (redness **(a)**, yellowness **(b)**) of meat stored in MAP from short lairage time (SLT) and long lairage time (LLT) at the slaughterhouse after a short transport (* significant differences $p < 0.05$ between treatments within the same day).

3.2. Study 2. Long length transports (10 hours)

3.2.1. Animal Behavior

Percentage of animals standing decreased ($p < 0.001$) after the first hour at the lairage (70% to 32%), but after 3 hours, percentage of animals standing started to increase until H6 (63%) (Figure 3a). Percentage of animals drinking water increased ($p < 0.01$) from the H1 to the H5 (8.7% to 14.0%) and decreased ($p < 0.01$) the last hour at the lairage (10.1%). In addition, the percentage of animals ruminating increased ($p < 0.001$) after the first hour at the lairage (17.2% to 26.4%) but decreased again ($p < 0.001$) from H4 to H6 (14% to 7%) (Figure 3c).

Moreover, social behavior did not differ during the first 5 hours, but at the last hour increased ($p < 0.05$). Non-nutritive oral behavior decreased ($p < 0.01$) during the first three hours, but after that the non-nutritive oral behavior increased ($p < 0.01$) again until H6. Aggressive behavior such as butting tended to be different ($p < 0.10$) between lairage times (Table 6). Also, chasing increased from H1 at H5 ($p < 0.001$) and decreased from H5 until H6. Furthermore, sexual behaviors such as flehmen, attempt to mount and complete mounts decreased the first three hours ($p < 0.05$).

Table 6. Social behavior (counts every 15 min) of bulls at the lairage pens during 6 h of lairage time at the slaughterhouse after a long transport (10 hours).

Item	Lairage time						SEM ¹	<i>p</i> -value ² Lairage time
	H1	H2	H3	H4	H5	H6		
Social behavior								
Social	1.4 ^{ab}	1.0 ^b	1.1 ^b	1.3 ^b	1.1 ^b	1.9 ^a	0.15	< 0.01
Oral	1.1 ^a	0.8 ^b	0.8 ^b	1.2 ^a	1.4 ^a	1.5 ^a	0.18	0.03
Fighting	0.4	0.2	0.1	0.3	0.4	0.3	0.22	0.08
Butting	0.6	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	0.21	0.07
Displacing	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.06	0.24
Chasing	0.0 ^b	0.0 ^b	0.0 ^b	0.0 ^b	0.1 ^a	0.0 ^b	0.06	< 0.01
Flehmen	0.5 ^{ab}	0.3 ^{bc}	0.2 ^c	0.6 ^a	0.6 ^a	0.7 ^a	0.10	0.05
Attempt to mount	0.4 ^a	0.0 ^b	0.0 ^b	0.2 ^a	0.2 ^a	0.0 ^b	0.11	< 0.01
Complete mount	0.3 ^a	0.0 ^b	0.0 ^b	0.2 ^a	0.0 ^b	0.0 ^b	0.10	< 0.01
Stereotype	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.07	0.15

^{ab} Rows with different superscripts differ (*p* < 0.05).

¹ SEM= Standard error of the mean obtained from root-square transformed data

² *p*-value of root-square transformed data.

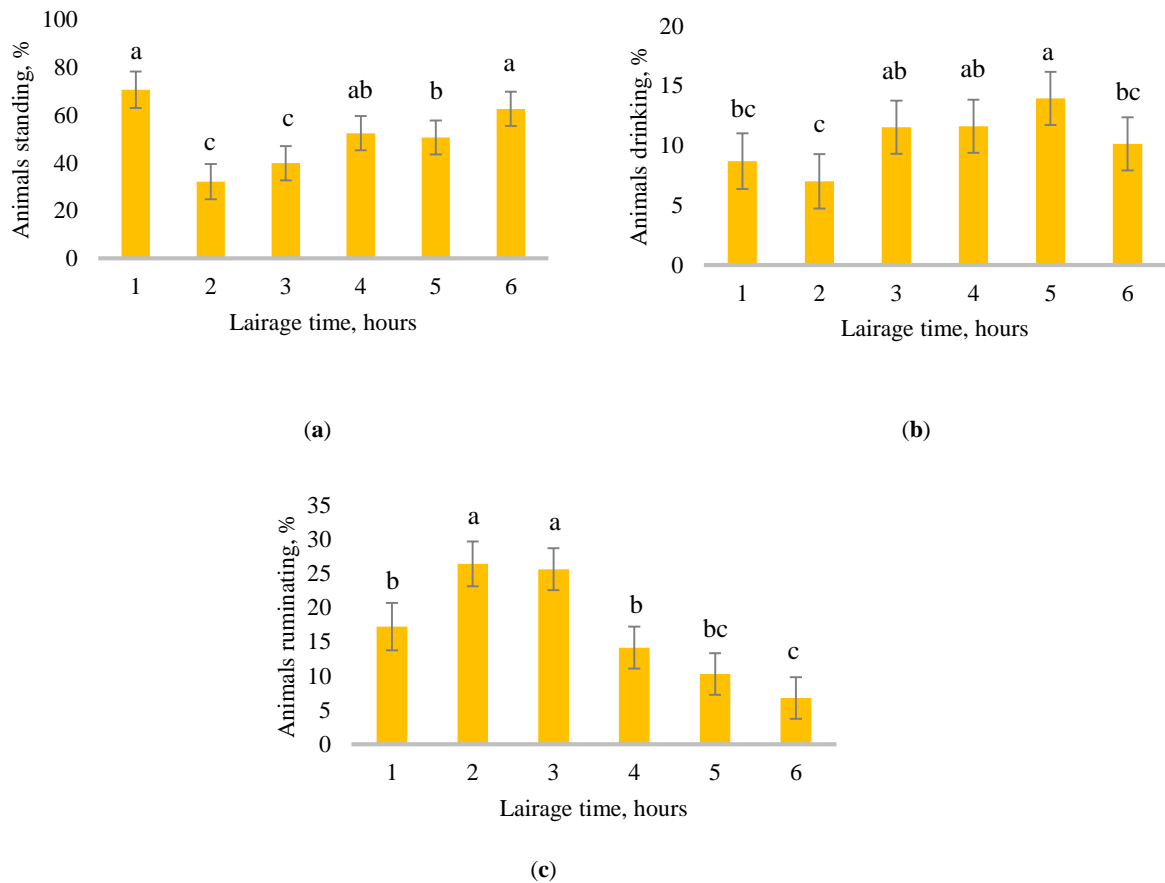


Figure 3. Standing (a), drinking (b) and ruminating (c) of bulls at the lairage pens during 6 h of lairage time at the slaughterhouse after a long transport (^{a,b,c} significant differences *p* < 0.05)

3.2.2. Physiological parameters in blood

No difference was observed in plasma glucose concentration, neither in serum BHB and CK concentrations between treatments after slaughter (Table 7).

Table 7. Blood parameter a subset of bulls that spent a short lairage time (SLT) and long lairage time (LLT) at the slaughterhouse pens after 10 hours of transport.

Item	Lairage time ¹		SEM ³	<i>p</i> -value ⁴
	SLT ²	LLT ²		Lairage time
Number of animals	43	43		
Glucose, mg/dL	106.0	103.9	0.13	0.45
BHBA, mmol/L	0.1	0.1	0.06	0.20
CK, U/L	464.8	513.7	0.08	0.34

¹ SLT = short lairage time: 1-2 hours; LLT= long lairage time: 7-8 hours.

² Mean values were transformed from log data.

³ SEM: Standard error of the mean of the log-transformed data.

⁴ *p*-value of log-transformed data.

3.2.3. Carcass and meat quality

The HCW and fatness did not differ between treatments, but conformation was greater ($p < 0.01$) for SLT compared with LLT (Table 8).

Meat pH was lesser ($p < 0.01$) for SLT than LLT with a tendency for increased percentage of meat classified as DFD (pH > 5.8) (Table 9). In addition, the a^* and b^* at 30-36 hours were greater ($p < 0.05$) for SLT compared with LLT.

An interaction ($p < 0.01$) between lairage time and time in MAP were observed for L^* ; values of L^* were greater ($p < 0.01$) in LLT compared to SLT on d 1 in MAP storage. No differences were observed between storage time and time in color perception when meat was stored in MAP. However, it was observed a time effect with greater ($p < 0.01$) odds ratio in which there where higher scores when the time in MAP was shorter. Lastly, no differences between lairage treatments were observed for the microbiology analysis of meat stored in MAP on d 1, 5, 8 or 12 (Table 9).

Table 8. Carcass quality, meat pH, instrumental color and color perception of a subset of bulls that spent a short lairage time (SLT) and long lairage time (LLT) at the slaughterhouse pens after 10 hours of transport.

Item	Lairage time ¹		SEM ²	<i>p</i> -value
	SLT	LLT		Lairage time
Number of animals	179	165	-	
Hot Carcass weight, kg	270.4	271.9	15.79	0.58
Conformation ³ , %			-	< 0.01
E	-	-		
U	-	-		
R	22.9 ^a	8.5 ^b		
O	69.8	82.4		
P	7.3	9.1		
Fatness ⁴ , %			-	0.45
1	1.7	2.4		
2	97.2	97.6		
3	1.1	0.0		

^{ab} Rows with different superscripts differ ($p < 0.05$).

¹ SLT = short lairage time: 1-2 hours; LLT= long lairage time: 7-8 hours.

² SEM= Standard error of the mean.

³ The conformation class designated by the letter “E” (excellent) describes carcasses with all profiles convex to super-convex, and with exceptional muscle development, and the conformation classified as “U” (very good) describes carcasses with profiles on the whole convex, and with very good muscle development. The carcasses classified as “R” (good) present profiles, overall, straight and with good muscle development. Carcasses classified as “O” (fair) present profiles straight to concave and with average muscle development, and carcasses classified as “P” (poor) present all profiles concave to very concave with poor muscle development.

⁴ The carcass fat cover that classifies as 1 (low) describes none to low fat cover, the class of fat cover classified as 3 (very high) describes an entire carcass covered with fat and with heavy fat deposits in the thoracic cavity.

Table 9. Meat pH, instrumental color and microbiology of a subset of bulls that spent a short lairage time (SLT) and long lairage time (LLT) at the slaughterhouse pens after 10 hours of transport.

Item	Lairage time ¹		SEM ²	<i>p</i> -value		
	SLT	LLT		Lairage time	Storage time	Lairage time x Storage time
Number of animals	179	165				
pH, 30-36 h	5.63 ^b	5.69 ^a	0.053	0.01	-	-
DFD, %				0.06		
No presence	75.5	83.6	-		-	-
Presence	24.5	16.4				
Number of animals	44	43				
Instrumental color ⁴ , 30-36 h						
L*	28.9	29.3	1.10	0.60	-	-
a*	16.3 ^a	15.1 ^b	0.94	0.01	-	-
b*	16.7 ^a	15.6 ^b	1.53	< 0.01	-	-
Meat parameters at 5, 8 and 12 d						
Instrumental color ⁴ in MAP						
L*	32.6	32.8	1.33	0.66	< 0.01	0.02
a*	17.4	18.3	1.50	0.77	< 0.01	0.13
b*	18.8	18.0	0.71	0.58	0.03	0.49
Number of animals	14	11				
Microbiology ⁵ , log CFU/g						
Enterobacteria	1.2	1.1	0.12	0.49	0.11	0.09
Mesophiles	4.0	4.0	0.27	0.89	< 0.01	0.85
Lactic acid bacteria	1.8	1.9	0.24	0.60	< 0.01	0.83
Psychrophiles	4.5	4.5	0.36	0.88	< 0.01	0.99

^{ab} Rows with different superscripts differ ($p < 0.05$).

¹ SLT = short lairage time: 1-2 hours; LLT= long lairage time: 7-8 hours.

² SEM= Standard error of the mean.

⁴ Instrumental color: L*= lightness, a*= redness, and b*= yellowness.

⁵ Microbiology (CFU/g) in modified atmosphere (MAP) (70% O₂: 30% CO₂) evaluated at d 1, 5, 8 and 12.

4. Discussion

It has been described that lairage brings benefits at reducing the negative effects of transport (Cockram et al., 1997; Mounier et al., 2006), however, cattle need sufficient space to lie down, and time to recover (Jongman et al., 2008). In addition, some authors suggested that access to water and feed are also needed at the lairage to facilitate the recovery of the cattle (Jongman et al., 2008) and to mitigate the effect of muscle glycogen depletion (Gallo et al., 2003). However, under the Spanish production system no feed is provided during lairage time. In the present study, two different lairage times were evaluated after a short and long transport according to our industry characteristics. Results showed that after a short transport of less than 3 h (study 1) cattle could benefit from lairage times greater than 6 hours as an increase of lying time and rumination overtime was observed, but it does not affect carcass and meat quality. Contrary, after a transport of 10 hours (study 2) cattle might be exhausted from the transport and preferred to rest the first hours at the lairage (Von Borell and Schäffer, 2005); but as lairage time increased cattle became more active increasing standing time and non-nutritive oral behaviors that could be indicative of hunger and stress. Moreover, a long lairage time increased meat pH although and 33% of meat classified as DFD. Surprisingly, the time spent at the lairage pens did not cause an increase of serum CK as expected, probably because handling, transportation and establishment of new hierarchies in the lairage pens was not severe enough to cause physical stress and muscle damage to the animals (Knowles and Warriss, 2007; Grzyb and Skorkowski, 2005).

Gallo et al. (2003) indicated that longer periods of food deprivation caused lower levels of muscle glycogen and consequently higher pHu. Similar to the present study when cattle were transported for longer duration and spent longer lairage times at the slaughterhouse, as mentioned previously. However, the increase of pHu was low with very low impact on the meat quality parameters and it could be explained because in the present study the lairage time was shorter compared with Gallo et al. (1995). Those authors transported calves for 24 hours, spent 29 hours of lairage time and consequently animals had a total of 55 hours of food deprivation. Food deprivation during transport and lairage has been described to have a negative impact on live weight (Gallo, 2015) live weight can be reduced by 0.42 kg for each hour kept at the lairage while the effect of

lairage time on carcass was accounted by 0.10 kg reduction for each hour at the lairage (Qiu et al., 2022). In the present study live weight was not measured before loading at the farm neither after unloading at the slaughterhouse due to lack of infrastructures, also animals were randomly placed in different pens assigned to the different lairage times; for this reason, carcass weight and carcass classification were only additional information to characterize the type of carcasses evaluated. Additionally, based on the serum concentration of BHB none of the lairage groups of short or long transport showed mobilization of fat reserves; therefore, under the Spanish industry practices animals do not suffer a severe negative energy balance (Qiu et al., 2022; Agenäs et al., 2006).

Muscle glycogen concentration at the time of slaughter is one of the most important factors that affects beef quality (Teke et al., 2014). When muscle glycogen reserves are low, the pHu increases. It is defined that an undesirable pHu is the one above 5.8, and when pHu is greater, serious problems of dark cutting could appear (Ferreira et al., 2006). In non-stressed cattle, muscle glycogen is restored mainly by blood glucose synthesis (Immonen, 2000). Plasma glucose concentration increases as animals wait at the lairage because of the stress and also due to hunger associated to the metabolism to maintain the activity (Grandin, 2013). Plasma basal concentration of glucose in non-stressed cattle is around 58.8 mg/dL (Tarrant et al., 1992). When Moura et al (2021) evaluated glucose concentration pre- and post-lairage and at the exsanguination time, they observed an increase of its concentration at the exsanguination compared to the pre- and post- 12 hours lairage time. In the present study, lower plasma glucose concentration was observed compared with Jarvis et al. (1996) and Moura et al. (2021); this lower concentration could be due to the shorter lairage time evaluated in the present study compared with the mentioned studies. However, plasma glucose concentrations when animals suffered a short transport and long lairage time were close to the once of animals that suffered a long transport regardless lairage time; these data may indicate that those animals were starving and/or stressed.

The pH influences meat color and tenderness due to the amount of intramuscular fat, pigment content, water holding capacity, and oxidation stress (Muchenjea et al., 2009). Instrumental color values also tend to be affected by carcass fatness, animal age, pH, moisture content, changes in muscle myoglobin content and intramuscular fat (Ferguson

and Warner, 2008; Muchenje et al., 2009). Color is the most important characteristic that consumers use when purchasing meat (Kropf, 1980) Although there were differences in L*, a* and b* after 36 hours in the present study, values are within the expected range of a non DFD meat and differences between treatments were not relevant, as it happened with pHu. Similar values were found in Holstein bulls and crossbred bulls under the same production system (Sánchez et al., 2022).

The storage and the atmosphere where the meat is placed may determine the shelf life (Insausti et al., 2001). Packaging using modified atmosphere (mixture of carbon dioxide, oxygen and nitrogen) together with pHu will have an effect on meat quality. It is described that when pHu was higher than 6 the growth of aerobic gram-negative bacteria and lipid oxidation meat quality decreased more rapidly (Foegeding et al., 1983; Insausti et al., 2001). In the present study only a time effect was observed in color perception and microbiology after 12 days on MAP. Therefore, the effect of transport time or lairage time did not affect the evolution of shelf life of these meat.

5. Conclusion

No great differences in meat quality, instrumental color, color perception, and microbiology) were found between 1 to 2 or 7 to 8 h of lairage time evaluated for transports shorter than 3 hours. Long lairage times after long transports may increase pHu and predispose animals to increase the DFD meat. Moreover, the behavior of the animals changed depending on the transport duration and lairage time. Therefore, establishing different lairage time protocols based on transport duration may improve animal welfare and potentially avoid DFD meat incidences. It is recommended to slaughter cattle after short lairage time (< 3 hours) when transports are longer than 10 hours to reduce negative impacts on animal welfare and meat quality. In short transports of less than 3 hours, lairage times longer than 3 h could benefit the recovery of the animals without affecting meat quality.

6. References

- Agenäs, S.; Heath, M.; Nixon, R.; Wilkinson, J.; Phillips, C. Indicators of undernutrition in cattle. *Animal Welfare*, **2006**, *15*(2), 149-160. doi:10.1017/S0962728600030232
- Averós, X.; Brossard, L.; Dourmad, J.Y.; Greef, K.H.; Edge, H.L., Edwards, S.A., Meunier-Salaün, M. Predicting the effect of an increase in available space on the activity and exploratory behaviour of pigs raised in an enriched environment. **2011**
- Brown, S.N.; Bevis, E.A.; Warriss, P.D. An estimate of the incidence of dark cutting beef in the United Kingdom. *Meat Sci.* **1990**, *27*(3), 249-258. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(90\)90054-A](https://doi.org/10.1016/0309-1740(90)90054-A).
- Cockram, M.; Kent, J.; Jackson, R.; Goddard, P.; Doherty, O.; McGilp, I. O'Riordan, T. Effect of lairage during 24 h of transport on the behavioural and physiological responses of sheep. *Ani. Sci.* **1997**, *65*(3), 391-402. doi:10.1017/S1357729800008596
- Commission Internationale de l'Éclairage. Recommendations on uniform color spaces- color difference equations. Psychometric color terms. Commission Internationale de l'Éclairage, Paris, France. **1978**
- Dalmau, A.; Velarde, A.; Gispert, M. Standardization of the measure “meat quality” to assess the welfare of pigs at slaughter, In: Forkman B, Keeling L (eds), *Assessment of Animal Welfare Measures for Sows, Piglets and Fattening Pigs*, **2009**, 117–124.
- Devant, M.; Penner, G.B.; Marti, S.; Quintana, B.; Fábregas, F.; Bach, A.; Arís, A. Behavior and inflammation of the rumen and cecum in Holstein bulls fed high-concentrate diets with different concentrate presentation forms with or without straw supplementation. *J. Anim. Sci.* **2016**, *94*, 3902–3917. doi:10.2527/jas.2016-0594.
- Earley, B.; Murray, M.; Prendiville, D. J. Effect of road transport for up to 24 hours followed by twenty-four hour recovery on live weight and physiological responses of bulls. *BMC veterinary research*, **2010**, *6*, 38. <https://doi.org/10.1186/1746-6148-6-38>

- Eldridge, G.A.; Winfield, C.G. The behaviour and bruising of cattle during transport at different space allowances. *Aust. J. Exp. Agric.* **1988**, *28*, 695-698.
- Eldridge, G.A.; Warner, R.D.; Vowles, W.J. Pre-slaughter management and marketing systems for cattle in relation to improving meat yield, meat quality and animal welfare. Melbourne, Australia. Department of Agriculture and Rural Affairs **1989**.
- Ferguson, D. M.; Warner, R. D. Have we underestimated the impact of pre-slaughter stress on meat quality in ruminants? *Meat Sci.* **2008**, *80*, 12–19. doi:10.1016/j.meatsci.2008.05.004.
- Ferguson, D.M.; Bruce, H.L.; Thompson, J.M.; Egan, A.F.; Perry, D.; Shorthose, W.R. Factors affecting beef palatability—farmgate to chilled carcass. *Aust. J. Exp. Agric.* **2001**, *41*, 879–891. doi:10.1071/EA00022
- Ferreira, G. B.; Andrade, C. L.; Costa, F.; Freitas, M. Q.; Silva, T. J. P.; Santos, I. F. Effects of transport time and rest period on the quality of electrically stimulated male cattle carcasses. *Meat Sci.* **2006**, *74(3)*, 459-466. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.04.006>
- Foegeding, E.A.; Naumann, H.D.; Stringer, W.C. Effect of Aerobic Storage before Vacuum Packaging on the pH, Color and Bacterial Flora of Beef 1. *J. Food Prot.* **1983**, *46(4)*, 287
- Gallo C. Glycolytic potential and activity of adenosine monophosphate kinase (AMPK), glycogen phosphorylase (GP) and glycogen debranching enzyme (GDE) in steer carcasses with normal (<5.8) or high (>5.9) 24h pH determined in *M. longissimus dorsi*. *Meat Sci.* **2015**, *101*, 83–89. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.11.008>
- Gallo, C., Lizondo, G., Knowles, T.G. Effects of journey and lairage time on steers transported to slaughter in Chile. *Vet. Rec.* **2003**, *152*, 361–364.
- Gallo, C.; Gatica, C.H. Efectos del tiempo de ayuno sobre el peso vivo, de la canal y de algunos órganos en novillos, **1995**

- Gebresenbet, G. and Eriksson, B. Effects of Transport and Handling on Animal Welfare, Meat Quality and Environment with Special Emphasis on Tied Cows. Department of Agricultural Engineering, S.L.U. Uppsala **1998**, Report 233.
- Grandin T. Making slaughterhouses more humane for cattle, pigs, and sheep. Annual review of Anim. Biosci. **2013**, *1*, 491–512. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-031412-103713>
- Grandin, T. Effect of animal welfare audits of slaughter plants by a major fast food company on cattle handling and stunning practices. *J. Am. Vet.* **2000**, *216*, 848–851.
- Grzyb, K.; Skorkowski, E. F. Characterization of creatine kinase isoforms in herring (*Clupea harengus*) skeletal muscle. *Comp. Biochem. Physiol. Part B. Biochem. Mol. Biol.* **2005**, *140*, 629-634.
- Hoffman, D. E.; Spire, M. F.; Schwenke, J. R.; Unruh, J. A. Effect of source of cattle and distance transported to a commercial slaughter facility on carcass bruises in mature beef cows. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 1998, *212*(5), 668–672.
- Honkavaara, M.; Kortensniemi, P. Effect of long distance transport on cattle stress and meat quality. *Meat Focus Int.* **1994**, *3*, 405–409.
- Hughes, J. M.; Clarke, F. M.; Purslow, P. P.; Warner R. D. Meat color is determined not only by chromatic heme pigments but also by the physical structure and achromatic light scattering properties of the muscle. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* **2020**, *19*, 44–63. doi:10.1111/1541-4337.12509.
- Immonen, K. Bovine muscle glycogen concentration in relation to diet, slaughter and ultimate beef quality. Helsinki: University of Helsinki, Department of Food Technology EKT **2000**, series 1203.
- Insausti, K.; Beriain, M. J.; Purroy, A.; Alberti, P.; Gorraiz C.; Alzueta, M. J. Shelf life of beef from local Spanish cattle breeds stored under modified atmosphere. *Meat Sci.* **2001**, *57*, 273- 281.

- Jarvis, A. M.; Harrington, D. W. J.; Cockram, M. S. Effect of source and lairage on some behavioral and biochemical measurements of feed restriction and dehydration in cattle at a slaughterhouse. *Appl. Anim. Behav. Sci.* **1996**, *5*, :83–94. doi:10.1016/0168-1591(96)01070-2.
- Jongman, E.; Edge, M.; Butler, K; Cronin, G. Reduced space allowance for adult sheep in lairage for 24 hours limits lying behaviour but not drinking behaviour. *Aust. J. Exp. Agr.* **2008**, *48*. doi: 10.1071/EA08039.
- Kenny, F.J.; Tarrant, P.J. The Behaviour of Young Friesian Bulls during Social Re-grouping at an Abattoir. Influence of an Overhead Electrified Wire Grid. *Applied Anim. Behav. Sci.*, **1987**, *18*, 233-246.
- Knowles, T. G. A review of the road transport of cattle. *Vet. Rec.* **1999**, *144*, 197-201.
- Knowles, T.G.; Warriss, P.D. Stress physiology of animals during transport. *Livestock Handling and Transport*, **2007**, 3rd ed, 312-328. 10.1079/9781845932190.0312.
- Kropf, D. H. Effects of retail display conditions on meat color. In: *Proc. 33rd Recip. Meat Conf.*, West Lafayette, IN. **1980**, 15–32.
- Loredo-Osti, J.C.; Sánchez-López, E.; Barreras-Serrano, A.; Figueroa-Saavedra, F.; Pérez-Linares, C.; Ruiz-Albarrán, M.; Domínguez-Muñoz, M.Á. An evaluation of environmental, intrinsic and pre- and post-slaughter risk factors associated to dark-cutting beef in a Federal Inspected Type slaughter plant. *Meat Sci.*, **2019**, *150*, 85-92.
- Mach, N.; Bach, A.; Velarde, A.; Devant, M. Association between animal, transportation, slaughterhouse practices, and meat pH in beef. *Meat Sci.* **2008**, *78*, 232–238. doi:10.1016/j.meatsci.2007.06.021.
- Mounier, L.; Dubroeuq, H.; Andanson, S.; Veissier, I. Variations in meat pH of beef bulls in relation to conditions of transfer to slaughter and previous history of the animals. *J. Anim. Sci.* **2006**, *84*, 1567–1576.

- Moura, S. V.; Silveira, I. D. B.; Ferreira, O. G. L.; Mendonça, F. S.; Moreira, S. M.; Restle, J.; Garcia, J. A. B.; Vaz, R. Z. Lairage periods on temperament score and meat quality of beef cattle. *Pesqui. Agrop. Bras.* **2021**, *56*. doi:10.1590/s1678-3921.pab2021.v56.02349.
- Muchenjea, V.; Hugo, A.; Dzama, K.; Chimonyo, M.; Strydom, P. E.; Raats, J. G. Cholesterol levels and fatty acid profiles of beef from three cattle breeds raised on natural pasture. *J. Food Comp. Anal.* **2009**, *22*, 354-358.
- Narbona C. Estudio sobre la conducta del consumidor y sus cambios como consecuencia de la aplicación de la tipificación de carne bovina: discriminación por calidad. Tesis, Ing. Alim. Universidad Austral de Chile, Escuela de Ingeniería en Alimentos, Valdivia, Chile. Valdivia, **1995**.
- Paniagua, M.; Crespo, J.; Arís, A.; Devant, M. Citrus aurantium flavonoid extract improves concentrate efficiency, animal behavior, and reduces rumen inflammation of Holstein bulls fed high-concentrate diets. *Anim. Feed Sci. Technol.* **2019**, 258. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114304>
- Qiu, X.; Qin, X.; Chen, L.; Chen, Z.; Hao, R.; Zhang, S.; Yang, S.; Wang, L.; Cui, Y.; Li, Y.; Ma, Y.; Cao, B.; Su, H. Serum Biochemical Parameters, Rumen Fermentation, and Rumen Bacterial Communities Are Partly Driven by the Breed and Sex of Cattle When Fed High-Grain Diet. *Microorganisms*, **2022**, *10*.
- Sánchez, D.; Marti, S.; Verdú, M.; González, J.; Font-i-Furnols, M.; Devant, M. Characterization of Three Different Mediterranean Beef Fattening Systems: Performance, Behavior, and Carcass and Meat Quality. *Animals*. **2022**, *12*, 1–15. doi:10.3390/ani12151960.
- Sanz, M. C.; Verde, M. T.; Sáez, T.; Sañudo, C. Effect of breed on the muscle glycogen content and dark cutting incidence in stressed young bulls. *Meat Sci.* **1996**, *43*, 37–42. doi:10.1016/0309-1740(95)00053-4.
- Tarrant, P.V. Animal behaviour and environment in the dark- cutting condition. In: Fabiansson, S.U., Shorthose, W.R., Warner, R.D. (Eds.), *Darkcutting in Cattle and Sheep*.

- Aust. Meat and Livest. Research and Development Corporation, Sydney, Australia, **1989**, pp. 8–18.
- Tarrant, P.V.; Kenny, F.J.; Harrington, D.; Murphy, D. Long distance transportation of steers to slaughter: effect of stocking density on physiology behaviour and carcass quality. *Livest. Prod. Sci.* **1992**, *30*, 223–238.
- Teke, B.; Akdag, F., Ekiz, B.; & Ugurlu, M. Effects of different lairage times after long distance transportation on carcass and meat quality characteristics of Hungarian Simmental bulls. *Meat Sci.* **2014**, *96(1)*, 224–229.
- Terlouw, E. M.C.; Arnould, C.; Auperin, B.; Berri, C.; Le Bihan-Duval, E.; Deiss, V.; Lefèvre, F.; Lensink, B. J. and Mounier, L. Pre-slaughter conditions, animal stress and welfare: Current status and possible future research. *Anim.* **2008**, *2*, 1501–1517. doi:10.1017/S1751731108002723.
- Von Borell, E.; Schäffer, D. Legal requirements and assessment of stress and welfare during transportation and pre-slaughter handling of pigs. *Livestock Production Science*, **2005**, *97*, 81–87
- Warris, P. D. The handling of cattle pre-slaughter and its effect on carcass and meat quality. *Applied Animal Behaviour Science*, **1990**, *28*, 171–186.
- Warriss, P. D. An Introductory Text. Wallingford, CAB International. *Meat Science*, **2000**, 131-155.
- Warriss, P.D.; Kestin, S.C.; Brown, S.N.; Wilkins, L.J. The time required for recovery from mixing stress in young bulls and the prevention of dark-cutting beef. *Meat Sci.* **1984**, *10*, 53–68.
- Wirth, F. Tecnología para la transformación de carne de calidad animal. *Fleischwirtsch.* **1987**, *1*, 22-28.

Wythes, J.R.; Arthur, R.J.; Thompson, P.J.; Williams, G.; Bond, J.H. Effects of transporting cows various distances on liveweight, carcass traits and muscle pH. *Aust. J. Exp. Agric.* **1981**, *21*, 557-561.

CAPITULO VII

Discusión General



En este capítulo se intentará analizar todos los estudios en conjunto para ver si es posible responder a los objetivos de forma conjunta; para ello primero se resumirán todos los estudios analizando factores diferenciales y ofreciendo una visión global (Tabla 1). En segundo lugar, se intentará responder a preguntas clave, aun sabiendo que hay factores que dificultan la comparación entre los diferentes estudios, un análisis global nos puede permitir visualizar futuras líneas de investigación y nos puede ayudar a dar algunas recomendaciones.

Analizando primero los datos que han caracterizado el sistema productivo de la presente tesis y tomando como referencia el macho frisón sacrificado a los 11 meses de edad que proviene del ternero tipo mamon por ser el animal base del sistema productivo de España de los últimos 10 años (actualmente se está cambiando hacia un macho frisón cruzado con raza cárnica e mayor edad de sacrificio), con la producción de hembras y machos cruzados con razas cárnicas o machos frisonos cruzados con raza Angus sacrificados desde los 10 hasta los 13 meses de edad (Tabla 1), se puede observar que las características de la canal están fuertemente influenciadas por factores relacionados con el animal, como el sexo, la edad al sacrificio y los factores genéticos, especialmente la raza (Raesa et al., 2003; Bures et al., 2006; Mach et al. 2008). En relación con la conformación de la canal, cuando la base animal (sexo y raza) se analiza en global, los animales cruzados con razas cárnicas suelen tener mejor conformación. Se espera que los cruces con una raza de carne, especialmente las de maduración tardía como la Charolaise o Limousine, contribuya a aumentar el peso de la canal y el porcentaje de carne en comparación con los animales frisonos de raza pura, o los cruces con las razas de maduración temprana, mejorando así su la eficiencia (Keane et al., 1989; Andersen et al., 2001; Huuskonen et al., 2014). En el estudio 1, donde las hembras eran cruces de razas de frisona con raza cárnica, se observó una buena clasificación de la canal y esto pudo estar influenciado por el cruce con animales de raza cárnica en comparación con una hembra frisona de raza pura. Sorprendentemente también se puede observar qué la clasificación de la canal del macho frisón del estudio 1 fue muy inferior (45% canales tipo “P”) que en los machos frisonos del estudio 3 (máximo 18.3% tipo “P”) a pesar de que el peso canal fue superior. Dichos resultados no fueron los esperados; es por todos conocido qué el transporte causa pérdidas de peso vivo debido a las pérdidas de orina,

defecación a parte del estrés y las horas en ayunas que pueden estimular la movilización de reservas (Guàrdia et al., 2009; Faucitano 2001); pero en el estudio 3 la duración del transporte fue superior que en el estudio 1, esperando una reducción del peso de los animales mayor afectando negativamente la conformación. Al no observarse dicho impacto negativo sobre la conformación, puede que las distancias y horas de transporte deban ser superiores a las estudiadas en la presente tesis para observar dichos efectos. Otra explicación podría ser que el matadero por sí mismo puede tener un impacto sobre la valoración de la conformación. A pesar de los esfuerzos para uniformizar los criterios para clasificar las canales, la clasificación de la canal depende mucho del matadero (por ello evitamos sacrificar animales de un mismo estudio en diferentes mataderos si queremos comparar conformaciones). Los animales del estudio 1 se sacrificaron en el matadero de Guissona y los del estudio 3, correspondiente al transporte largo, se sacrificaron en el matadero de Buñol- Valencia, por lo tanto, estas diferencias en conformación sí que podrían ser debidas a la diferente manera de clasificar canales en cada matadero. La alimentación y el manejo también podrían afectar a la conformación de la canal. Pero la alimentación durante la fase de acabado fue una alimentación similar entre estudios con ligeras diferencias en el contenido de energía (debido a diferencias en el contenido en grasa bruta e hidratos de carbono no estructurales) y proteína bruta. También observamos un manejo similar entre estudios (se alojaron en corrales con cama de paja y con un diseño de corral parecido). No parece pues que la alimentación ni el manejo hayan tenido un impacto sobre la calidad de la canal. Otros factores de manejo que pudieran haber afectado a la conformación de la canal podrían haber sido las densidades de los corrales (1.7 a 2.6 animales/m²) de espera en el matadero, pero a priori no parece haber ninguna relación.

Tabla 1. Resumen de las características del sistema productivo, comportamiento animal, manejo e instalaciones, alimentación, eficiencia productiva, época y año en los que fueron sacrificados y calidad de la canal y de la carne los animales de los estudios 1, 2 y 3.

Tratamiento	Estudio 1			Estudio 2		Estudio 3					
	Sistema productivo			Manejo e instalaciones de la granja		Transportes y tiempo de espera en matadero					
	H cruzada (10 m)	M frisón (11 m)	M Holstein cruzado con Angus (12 m)	Animales sin ventilación	Animales con ventilación	Transportes Cortos		Transportes Largos			
						Tiempo de espera corto	Tiempo de espera largo	Tiempo de espera corto		Tiempo de espera largo	
Raza del animal	Frisón x raza cárnica	Frisón	Frisón x Angus	Frisón x raza cárnica	Frisón x raza cárnica	Frisón	Frisón	Frisón	Frisón x raza cárnica	Frisón	Frisón x raza cárnica
Sexo del animal	Hembra	Macho	Macho	Macho	Macho	Macho	Macho	Macho	Macho	Macho	Macho
Edad inicial, días	142	143	155	298	300	-	-	-	-	-	-
Peso inicial, kg	165	176	192	441	450	-	-	-	-	-	-
Comportamiento animal en granja											
Tumbado, %	32,3	23,1	22,1	25,7	74,9	-	-	-	-	-	-
Rumiando, %	13,8	10,1	10,5	11,0	8,3	-	-	-	-	-	-
Peleando, cada 15 min	0,7	2,9	2,1	6,2	5,3	-	-	-	-	-	-
Comportamiento animal en matadero											
Tumbado, %	-	-	-	-	-	-	31,7	-	-	14,7	19,8
Rumiando, %	-	-	-	-	-	-	20,6	-	-	19,4	10,8
Peleando, cada 15 min	-	-	-	-	-	-	0,4	-	-	0,2	0,5
Tamaño de los corrales, m x m	12 x 6	12 x 6	12 x 6	12 x 6	12 x 6	-	-	-	-	-	-

Tabla 1. Resumen de las características del sistema productivo, comportamiento animal, manejo e instalaciones, alimentación, eficiencia productiva, época y año en los que fueron sacrificados y calidad de la canal y de la carne los animales de los estudios 1, 2 y 3.

Tratamiento	Estudio 1			Estudio 2		Estudio 3					
	Sistema productivo			Manejo e instalaciones de la granja		Transportes y tiempo de espera en matadero					
	H cruzada (10 m)	M frisón (11 m)	M Holstein cruzado con Angus (12 m)	Animales sin ventilación	Animales con ventilación	Transportes Cortos		Transportes largos			
						Tiempo de espera corto	Tiempo de espera largo	Tiempo de espera corto	Tiempo de espera largo	Tiempo de espera largo	
Raza del animal	Frisón x raza cárnica	Frisón	Frisón x Angus	Frisón x raza cárnica	Frisón x raza cárnica	Frisón	Frisón	Frisón	Frisón x raza cárnica	Frisón	Frisón x raza cárnica
Nutrición, en MS											
Energía metabolizable, Mcal/kg	3,2	3,3	3,3	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
Proteína bruta, g/kg	158	144	144	119	119	119	119	119	119	119	119
Grasa bruta, g/kg	55	65	65	51	51	51	51	51	51	51	51
Cenizas, g/kg	54	47	47	50	50	50	50	50	50	50	50
FND, g/kg	220	198	198	193	193	193	193	193	193	193	193
CNF ¹ , g/kg	511	545	545	587	587	587	587	587	587	587	587

¹ CNF = Carbohidratos no fibrosos calculado como 1000 - (Proteína bruta + cenizas + NDF + extracto de éter).

Tabla 1. Resumen de las características del sistema productivo, comportamiento animal, manejo e instalaciones, alimentación, eficiencia productiva, época y año en los que fueron sacrificados y calidad de la canal y de la carne los animales de los estudios 1, 2 y 3.

Tratamiento	Estudio 1			Estudio 2		Estudio 3					
	Sistema productivo			Manejo e instalaciones de la granja		Transportes y tiempo de espera en matadero					
	H cruzada (10 m)	M frisón (11 m)	M Holstein cruzado con Angus (12 m)	Animales sin ventilación	Animales con ventilación	Transportes Cortos		Transportes largos			
						Tiempo de espera corto	Tiempo de espera largo	Tiempo de espera corto	Tiempo de espera largo	Tiempo de espera largo	
Raza del animal	Frisón x raza cárnica	Frisón	Frisón x Angus	Frisón x raza cárnica	Frisón x raza cárnica	Frisón	Frisón	Frisón	Frisón x raza cárnica	Frisón	Frisón x raza cárnica
Ingesta media diaria, kg/d	6,2	6,5	6,4	8,0	8,2	-	-	-	-	-	-
Ganancia media diaria, kg/d	1,5	1,6	1,6	1,5	1,2	-	-	-	-	-	-
Peso final, kg	425	523	553	508	497	-	-	-	-	-	-
Edad de sacrificio, meses	311	350	380	330	352	334	334	340	365	340	365
Distancia del transporte	35	35	35	175	175	175	175	340	340	340	340
Duración de transporte	~ 1	~ 1	~ 1	~ 3	~ 3	~ 3	~ 3	~ 10	~ 10	~ 10	~ 10
Tiempo de espera en matadero	~ 2	~ 2	~ 2	~ 2	~ 2	~ 2	~ 6	~ 2	~ 2	~ 6	~ 6
Superficie de cuadras en matadero, m ²	11,9	11,9	11,9	20,2	20,2	20,2	20,2	65,8	65,8	65,8	65,8
Densidad animal, m ² /animal	1,7	1,7	1,7	1,9	1,9	1,9	1,9	2,6	2,6	2,6	2,6
Estación del año	Verano	Otoño	Otoño	Verano	Verano	Verano/Otoño/Invierno		Primavera/Verano/Invierno			
Año		2019		2019/2020		2021/2022		2021/2022			

Tabla 1. Resumen de las características del sistema productivo, comportamiento animal, manejo e instalaciones, alimentación, eficiencia productiva, época y año en los que fueron sacrificados y calidad de la canal y de la carne los animales de los estudios 1, 2 y 3.

Tratamiento	Estudio 1			Estudio 2		Estudio 3					
	Sistema productivo			Manejo e instalaciones de la granja		Transportes y tiempo de espera en matadero					
	H cruzada (10 m)	M frisón (11 m)	M Holstein cruzado con Angus (12 m)	Animales sin ventilación	Animales con ventilación	Transportes Cortos			Transportes Largos		
						Tiempo de espera corto	Tiempo de espera largo	Tiempo de espera corto	Tiempo de espera corto	Tiempo de espera largo	
Raza del animal	Frisón x raza cárnica	Frisón	Frisón x Angus	Frisón x raza cárnica	Frisón x raza cárnica	Frisón	Frisón	Frisón	Frisón x raza cárnica	Frisón	Frisón x raza cárnica
Peso de la canal, kg	243	279	297	282	284	244	256	258	282	260	283
Rendimiento canal, %	57,2	53,4	53,7	55,5	57,1	-	-	-	-	-	-
pH medio, 24 h postmortem	5,7	5,5	5,7	5,9	5,6	-	-	-	-	-	-
pH medio, 36 h postmortem	-	-	-	-	-	5,6	5,6	5,6	5,7	5,6	5,7
pH ≥ 5,8, %	5,6	0,0	11,1	40,9	26,1	4,8	4,9	3,4	46,5	1,2	33,3
pH > 6, %	0,0	0,0	0,0	31,8	8,7	2,4	4,9	2,3	4,7	0,0	2,6
Conformación de la canal ¹ , %											
E	2,6	-	-	4,2	4,2	-	-	-	-	-	-
U	23,1	-	32,4	20,8	29,2	-	-	-	-	-	-
R	33,3	-	67,6	20,8	29,2	7,4	7,0	-	46,1	-	16,9
O	35,9	54,8	-	41,7	33,3	83,5	85,4	85,4	53,9	81,7	83,1
P	5,1	45,2	-	12,5	4,2	9,1	7,6	14,6	-	18,3	-

¹ La clase de conformación designada por la letra "E" (excelente) describe canales con todos los perfiles convexos a superconvexos, y con un desarrollo muscular excepcional, y la conformación clasificada como "U" (muy buena) describe canales con perfiles en su conjunto convexos, y con muy buen desarrollo muscular. Las canales clasificadas como "R" (buena) presentan perfiles, en conjunto, rectos y con buen desarrollo muscular. Las canales clasificadas como "O" (regular) presentan perfiles de rectos a cóncavos y con un desarrollo muscular medio, y las canales clasificadas como "P" (pobre) presentan todos los perfiles de cóncavos a muy cóncavos y con un desarrollo muscular pobre.

Tabla 1. Resumen de las características del sistema productivo, comportamiento animal, manejo e instalaciones, alimentación, eficiencia productiva, época y año en los que fueron sacrificados y calidad de la canal y de la carne los animales de los estudios 1, 2 y 3.

Tratamiento	Estudio 1			Estudio 2		Estudio 3					
	Sistema productivo			Manejo e instalaciones de la granja		Transportes y tiempo de espera en matadero					
	H cruzada (10 m)	M frisón (11 m)	M Holstein cruzado con Angus (12 m)	Animales sin ventilación	Animales con ventilación	Transportes Cortos		Transportes Largos			
						Tiempo de espera corto	Tiempo de espera largo	Tiempo de espera corto		Tiempo de espera largo	
Raza del animal	Frisón x raza cárnica	Frisón	Frisón x Angus	Frisón x raza cárnica	Frisón x raza cárnica	Frisón	Frisón	Frisón	Frisón x raza cárnica	Frisón	Frisón x raza cárnica
Engrasamiento de la canal ² , %											
1	-	-	-	66.7	62.5	0	1.3	3.4	0	2.5	2.3
2	2.6	2.4	2.7	33.3	37.5	65.3	58.2	95.5	98.8	97.5	97.7
3	97.4	97.6	97.3	5.9	5.6	34.7	40.5	1.1	1.1	0	0
Grasa intramuscular del <i>Longissimus thoracis</i> , %											
Color instrumental ³ , 24 h											
L*	36,2	32,3	33,0	27,7	29,7	29,9	27,7	30,2	31,6	27,6	27,1
a*	14,9	16,7	16,9	9,6	11,1	14,7	13,4	14,5	13,7	18,0	16,5
b*	15,6	16,2	16,3	9,7	11,3	15,3	13,5	13,9	13,5	19,5	17,9
Percepción del color ⁴ , % , 48 h											
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,3	0,0
4	27,7	0,0	11,1	20,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,0	26,2	0,0
5	72,2	100,0	88,9	80,0	100,0	95,2	100,0	100,0	100,0	68,4	100,0

² La clase de cobertura de grasa de la canal clasificada como 1 (baja) describe una cobertura de grasa de nula a baja, la clase de cobertura de grasa clasificada como 3 (muy alta) describe una canal entera cubierta de grasa y con grandes depósitos de grasa en la cavidad torácica.

³ Color instrumental: L*= luminosidad, a*= tendencia al rojo y b*= tendencia al amarillo.

⁴ Escala de 5 puntos: percepción del color: 1= muy indeseable, 2= moderadamente indeseable, 3= ligeramente deseable, 4= moderadamente deseable y 5= muy deseable.

En cuanto a al engrasamiento de la canal, y contrario a nuestros resultados, Wheeler et al. (2004) observaron que los machos frisones tenían menos grasa subcutánea que los terneros Hereford y Angus a los 15 meses de edad y Marshall (1994) observó que los terneros de raza frisona tenían canales con peor engrasamiento de la canal que muchas de las razas británicas tradicionales. En dichos estudios, a diferencia de la presente tesis, la edad de sacrificio fue superior y los animales estaban castrados aumentando la capacidad de depositar grasa y ello podría explicar que se observaran diferencias entre razas a diferencia de los resultados de la presente tesis. La literatura sugiere que las prácticas actuales de selección y producción están asociadas con la infiltración grasa y los depósitos grasos en el animal y que la influencia de la alimentación y de la castración juegan un rol muy importante para la mejora de calidad de la canal durante el periodo de engorde de terneros. La castración (Amatayakul-Chantler et al., 2013; Mach et al., 2009; Marti et al., 2017) y la alimentación final (Steen y Kilpatrick, 1995; French et al., 2000) son factores clave para mejorar la infiltración grasa y el color, y obtener una buena calidad final del producto. Sin embargo, a pesar de que se puede esperar una mejoría de la calidad de la canal y la carne con estas prácticas, no es necesariamente rentable para el ganadero incluir una alimentación de finalización o realizar la castración ya que éstas pueden aumentar los costes de producción (Blanco et al., 2011; Murphy et al., 2017). En España, a diferencia de otros países, las canales se pagan por peso, y la calidad de la carne (infiltración grasa) no se tiene en cuenta. Por lo que cualquier estrategia para mejorar la calidad de la carne tiene que estar asociada a una “marca” para recuperar los costes. Las investigaciones actuales indican la necesidad de seleccionar animales que depositen menos grasa externa durante el período de crecimiento y finalización, pero manteniendo un nivel de infiltración grasa, además, de seleccionar razas para el aumento de ganancia productiva y la eficiencia alimentaria.

Finalmente, los diferentes estudios se han realizado en diferentes épocas del año, principalmente en verano y otoño. El impacto que ello pueda tener sobre la calidad de la carne y canal se debatirá a en la siguiente sección.

Un aspecto importante a resaltar es que, excepto los datos de machos cruzados con razas cárnicas en el estudio 2 sin ventilación y en el estudio 3, el pH medio de la carne a las 24 horas postmortem, aun habiendo diferencias significativas entre tratamientos, el

valor medio se encontraba debajo de 5,8. El valor de 5,8 es el valor aceptado por la industria cárnica como umbral crítico para que una canal sea aceptada para un envasado con atmósfera modificada (Hughe et al., 2020). Por lo tanto, podríamos decir que en general los factores estudiados tuvieron poca incidencia sobre el pH de la carne, indicando que el manejo que se realiza en nuestro sistema de producción en general es bueno. Y como se analizará posteriormente, el animal macho cruzado con raza cárnica podría ser un factor predisponente para la aparición de canales con pH elevados.

1. La influencia de los factores pre-sacrificio sobre el pH y la calidad de la carne.

1.1. ¿Sobre cuál sistema productivo deberíamos centrar los esfuerzos en controlar los factores previos al sacrificio? ¿algunos factores ambientales como la estación del año deberían tenerse en cuenta cuando se quieren establecer protocolos para evitar la aparición de carnes DFD?

Para dicho análisis se teniendo en cuenta los datos de diferentes estudios en conjunto y graficado los datos más relevantes. De todos es sabido que las decisiones de compra de los consumidores de carne de bovino a menudo están influenciadas por características específicas, como lo son el color y la vida útil, los cuales están altamente correlacionados con el pH final de la carne. Las carnes oscuras a menudo están asociadas con pH elevados a las 24 h; aunque recientemente se está debatiendo si el color oscuro de la carne sólo está asociado con un pH alto, ya que los mecanismos específicos detrás de esta aparición aún son relativamente desconocidos (Hughes et al., 2020). Los consumidores puntúan mejor (aceptación) a los cortes de carne del *longissimus thoracis* y *lumborum* si el pH es $< 5,8$ en comparación con las carnes con un pH alto $\geq 5,8$, que tenían una apariencia más oscura y las describieron como "vieja" o "no fresca" (Figura 1; Viljoen, de Kock y Webb, 2002). Además, pH y consecuentemente el color de la carne son particularmente importantes al elegir cual va a ser el formato de su comercialización, sobre todo si la carne debe ser posteriormente envasada en atmósfera modificada (Wulf y Wise, 1999; Page et al., 2001; Goñi et al., 2007).



pH < 5,8



pH ≥ 6,0

Figura 1. Clasificación de los lomos de terneros en función del pH (normal: pH < 5,8) y pH alto o DFD (carnes scuras duras y secas: pH ≥ 6,0).

Tal y como se ha comentado anteriormente, a pesar de que la incidencia de carnes DFD o pH elevados en la carne observada en los 3 estudios es relativamente baja; la base animal “macho cruzado con razas cárnicas” parece tener mayor incidencia de pH elevados y debería ser estudiado en mayor profundidad. Aun así, se debe de tener en cuenta que los machos cruzados normalmente se sacrifican a más edad y esto también puede predisponer a tener pH finales más elevados (Marti et al. 2013). Algunos autores resaltan la influencia del sexo sobre la calidad de la carne de ternera; la carne de macho entero suele tener un impacto negativo sobre el pH final atribuida a la propiedad anabólica de los andrógenos especialmente la testosterona (Mach et al. 2009); en consecuencia, la incidencia de carnes oscuras es más elevada afectando negativamente a sus propiedades tecnológicas haciéndola menos adecuada para la venta directa (Węglarz et al., 2002; Gil et al., 2005; Mach et al., 2008). En el estudio 1 las hembras frisonas cruzadas sacrificadas a los 10 meses de edad y los machos cruzados Angus sacrificado a los 12 meses de edad tuvieron un valor de 3,5% superior al valor del pH del macho frisón sacrificado a los 11 meses de edad. Este resultado nos sorprendió, pues esperábamos que tal y como observó Węglarz (2010) el pH medio de la carne de las terneras fuera aproximadamente de 5,5 difiriendo significativamente de lo que encontró en los terneros (pH = 5,9). Normalmente se cree que los machos son sexualmente más activos que las hembras, propiciando el gasto de energía antes del sacrificio y en consecuencia el pH tras el sacrificio no descendería tanto. Analizando todos los estudios en conjunto, una posible causa de que el pH de las hembras y de los machos cruzados Angus fuera más alto que los machos

frisones en el primer estudio, fuera porque tanto las hembras como los machos cruzados Angus eran cruzados con razas cárnica (Figura 2). Contrariamente a esta hipótesis diferentes autores no observaron diferencias entre razas, aunque el sistema de producción era distinto al nuestro (macho Angus vs macho frisón; pH= 5,5) (Bureš y Bartoň, 2018).

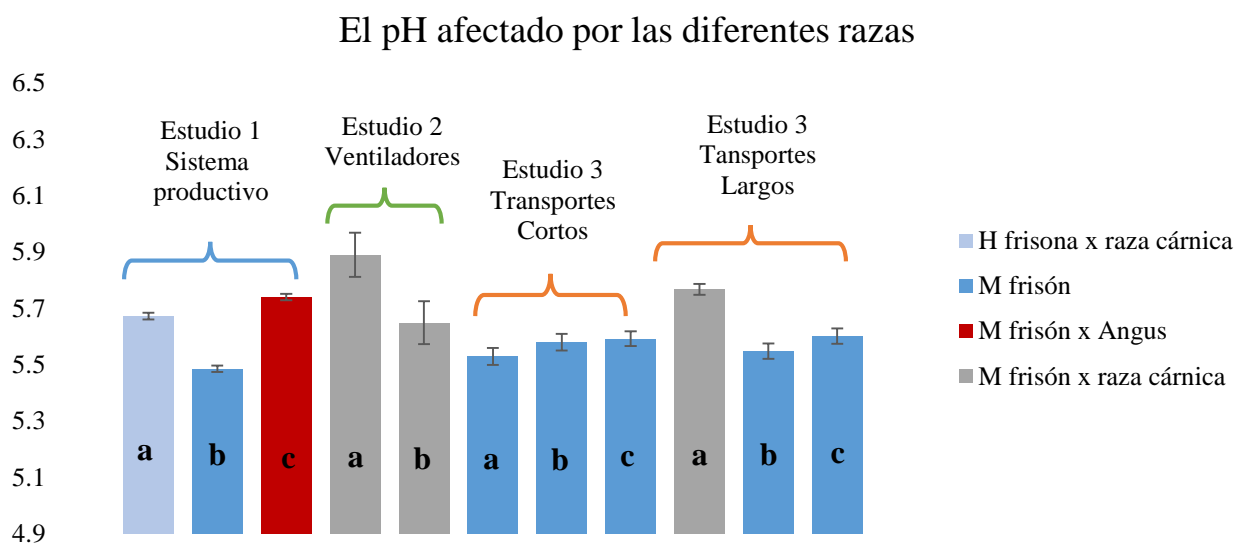


Figura 2. Influencia de las razas sobre el pH del estudio 1 y 2 (24 h post-mortem) y el estudio 3 (transportes cortos: 24 h post-mortem; transportes largos: 36 h post-mortem). **Estudio 1:** Sistema Productivo (**a**: hembras frisónas x raza cárnica sacrificadas a los 10 meses de edad; **b**: machos frisones sacrificados a los 11 meses de edad; **c**: macho frisón x Angus sacrificados a los 12 meses de edad); **estudio 2:** Ventiladores (**a** y **b**: machos frisones x raza cárnica sacrificados a los 11 meses de edad) y **estudio 3:** transportes cortos (**a** y **b**: machos frisones sacrificados a los 11 meses de edad) y transportes largos (**a**: machos frisones x raza cárnica sacrificados a los 12 meses de edad; **b** y **c**: machos frisones sacrificados a los 11 meses de edad).

Por otra parte, tal y como se ha comentado anteriormente, los animales se sacrificaron en diferentes estaciones del año; las estaciones afectan a la temperatura ambiental y al fotoperiodo pudiendo tener un impacto sobre la calidad de la carne. El estudio 2 donde precisamente se quería observar el impacto de las altas temperaturas en el comportamiento y la calidad de la carne, se observó un Índice de Temperatura y Humedad (ITH) medio de 75, indicando inicialmente que el efecto del estrés por calor no fue severo en general; sin embargo, hubo días donde el ITH fue superior a 80 (estrés por calor moderado; Akyuz et al., 2010 y Kohli et al., 2014) y hubo muchas noches consideradas tropicales en las que la temperatura nocturna no bajó de 20°C (el índice ITH no tiene en

cuenta la capacidad de disipación de calor). En este estudio se pudo observar como la temperatura ambiental tuvo un impacto sobre el pH de la carne y el color instrumental (terneros alojados en naves sin ventiladores) (Figura 3). Sin embargo, aunque en los otros estudios también se sacrificaron animales en verano, lamentablemente no tenemos registros de temperatura y humedad detallados para los estudios 1 y 3, pero los resultados obtenidos nos hacen pensar que durante los periodos estudiados en estos estudios no se registraron valores de ITH tan altos. Generalmente, el color más oscuro puede explicarse por un cambio en la distribución de las fibras musculares, que están más orientadas hacia el metabolismo oxidativo (Mancini y Hunt, 2005) y esto puede ser debido al desgaste muscular a causa del estrés por calor. Al igual de lo observado en la presente tesis, otros autores también han observado que la carne de ternera tenía valores de pH final más altos durante el verano (Kim et al., 2003; Mach et al., 2008; Weglarz, 2010). Por otro lado, también se observan pH elevados en los terneros sacrificados en primavera en los transportes largos. Al analizar más detenidamente estos resultados se observó que había un efecto del tipo de animal en el estudio 3 (Figura 4) con relación al pH final. Observamos que en primavera sólo se sacrificaron machos cruzados. Por lo tanto, es difícil conocer cuál es el factor causante de dicho aumento de pH: la estación y/o la raza. Por eso, debería estudiarse con profundidad dichos resultados con estudios diseñados para contrastar ambos factores.

El pH afectado por las estaciones

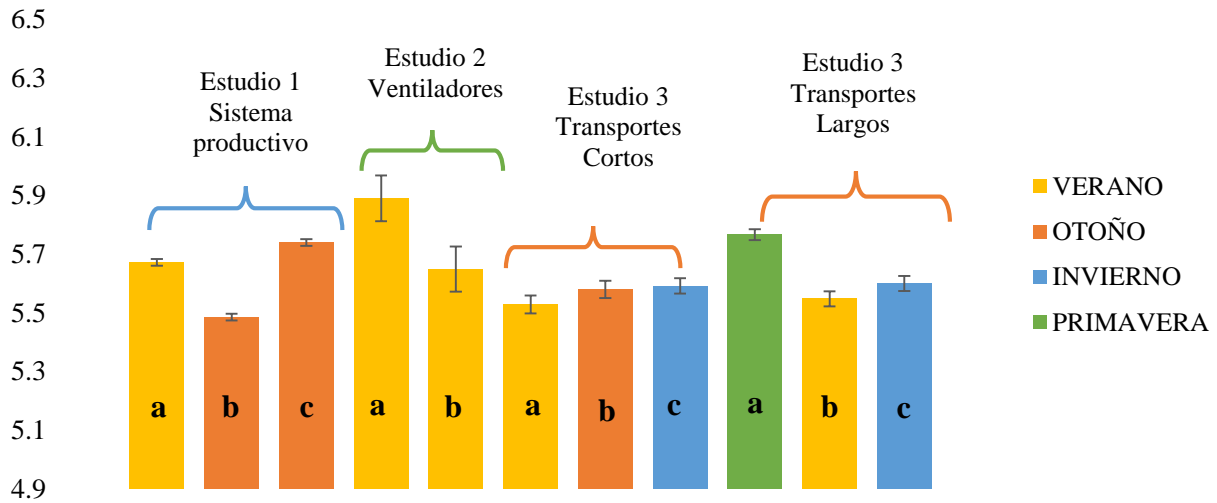


Figura 3. Influencia de las estaciones sobre el pH del estudio 1 y 2 (24 h post-mortem) y el estudio 3 (transportes cortos: 24 h post-mortem; transportes largos: 36 h post-mortem). **Estudio 1:** Sistema Productivo (**a**: hembras frisonas x raza cárnica sacrificadas a los 10 meses de edad en verano; **b**: machos frisonas sacrificadas a los 11 meses de edad en otoño; **c**: macho frisón x Angus sacrificados a los 12 meses de edad en otoño); **estudio 2:** Ventiladores (**a** y **b**: machos frisonas x raza cárnica sacrificados en verano) y **estudio 3:** transportes cortos (machos frisonas sacrificados en **a**: verano, **b**: otoño y **c**: invierno) y transportes largos (**a**: machos frisonas x raza cárnica sacrificados en primavera; **b**: machos frisonas sacrificados en verano y **c**: machos frisonas sacrificados en invierno).

El pH afectado por el transporte, el tiempo de espera, la estación y la raza

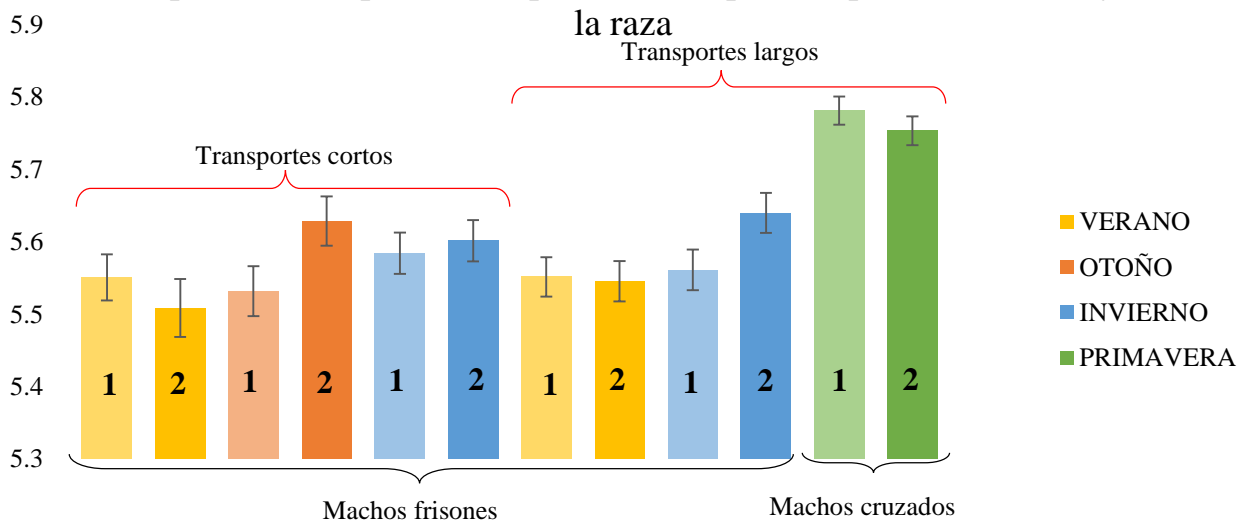


Figura 4. Influencia sobre el pH final de la carne del estudio 3 (transportes cortos: 24 h post-mortem; transportes largos: 36 h post-mortem): la duración del transporte (cortos: ~3h; largos: ~10 h), el tiempo de espera en matadero (**1**: tiempo de espera corto; 1 a 2 h; **2**: tiempo de espera largo; 6 h), las diferentes estaciones (verano, otoño, invierno y primavera) y las diferentes razas (machos frisonas; machos cruzados: raza frisona x raza cárnica).

Observando la figura 3 y 4, se evidencia que los machos frisones (faltaría comprobar su sacrificio en primavera) tienen medias de pH más bajas y lejos de acercarse a $\text{pH} = 5,8$, que ya hemos comentado que suele ser crítico para la industria cárnica. Si comparamos la influencia del tiempo de espera y la duración de los transportes observamos que los machos frisones de los transportes cortos y largos mantienen un pH por debajo de la media (Figura 4) y no varían según la estación en las que fueron sacrificados. No obstante, como lo veníamos observando en las figuras anteriores correspondiente a la influencia de las estaciones, los terneros machos cruzados con razas cárnicas transportados con transportes largos tienen valores de pH más altos independientemente del tiempo de espera; al sólo tener datos de primavera y en transportes largos se debería contrastarse dicho resultado en otra estación del año e en transportes cortos. **Así pues, el foco debe centrarse en los machos cruzados con razas cárnicas, explorar el efecto que pueda tener en diferentes estaciones (verano y primavera) para saber si hay que focalizar los esfuerzos en dicho sistema productivo. Parece ser que el macho frisón no debería tener problemas, pero faltaría comprobar si en primavera sería así.** Además, la tendencia a producir más macho cruzado en nuestro sistema de producción crea la necesidad de profundizar más como optimizar y mejorar la producción de este tipo de animal, ya que la mayoría de los datos que tenemos actualmente están basados en el engorde de ternero frisón.

1.2. ¿La actividad de los animales antes del sacrificio se relaciona con el pH de la canal? ¿Podría ser la actividad animal un buen indicador del riesgo de tener carnes con elevados pH; dicha respuesta es diferente según la estación del año?

La actividad animal, es decir, el tiempo que pasan los terneros realizando las actividades (p. ej., acostarse, pararse, comer, beber), se ha utilizado para determinar el bienestar de los animales (Overton et al. 2003; Cook et al. 2005). Pero, además, la actividad animal relacionarse con el gasto energético y el estrés previo al sacrificio pudiendo ser una herramienta para la mejora de la calidad de la carne (Cafe et al., 2011). Respecto a la actividad en granja, se registraron datos en el estudio 1 y 2; las hembras frisones del estudio 1 y los machos cruzados del estudio 2 se finalizaron durante los meses de verano y se sacrificaron también en el verano, en el caso de los machos frisones y los

machos Angus fueron sacrificados en otoño. Respondiendo a la pregunta de si la actividad puede relacionarse con el pH de la carne según la época del año, en la Figura 5 se puede observar que no existe una relación clara entre la estación del año y la actividad (tumbados o rumia) cuando se tiene en cuenta el comportamiento en granja. Algunos autores han observado que el tiempo de descanso disminuye en condiciones ambientales más cálidas (Zohner et al., 2004; Tucker et al., 2008; Schütz et al., 2010). Sin embargo, Uzal y Uğurlu (2010) observaron una mayor duración del comportamiento de reposo en primavera y verano (12,12 h/24 h para la primavera y 11,55 h/24 h para el verano). Como está descrito en el estudio 2, los animales alojados en corrales con ventilación no serían un buen ejemplo para comparar el comportamiento normal de reposo con condiciones ambientales ya que se cree que estos pasaron menos tiempo tumbados probablemente debido a que los animales compitieron para estar debajo de los ventiladores (Figura 6). En el caso de la rumia, se ha descrito que hay una relación estrecha entre el tiempo que los animales pasan tumbados en los corrales de la granja y el tiempo de rumia (Figura 5); aunque los terneros pueden rumiar de pie o acostado, con mayor frecuencia lo hacen cuando están acostados (Phillips, 1993). El tiempo que pasan acostados puede indicar mejor el bienestar y la salud de los animales (Haley et al., 2000; del Campo et al. 2021). En la presente tesis no se registró el tiempo total de estas actividades, sino un porcentaje de la actividad en un punto del día, esta limitación debería tenerse en cuenta. Es más, si relacionamos la actividad (tumbado) o la rumia con parámetros de calidad de la carne (pH) parece ser que no hay relación. Ello podría ser porque la actividad en granja no es un parámetro tan decisivo sobre la calidad de la carne y/o porque el registro puntual puede haber limitado el potencial del uso como predictor de la calidad de la carne.

Actividad animal en granja de los estudios 1 y 2

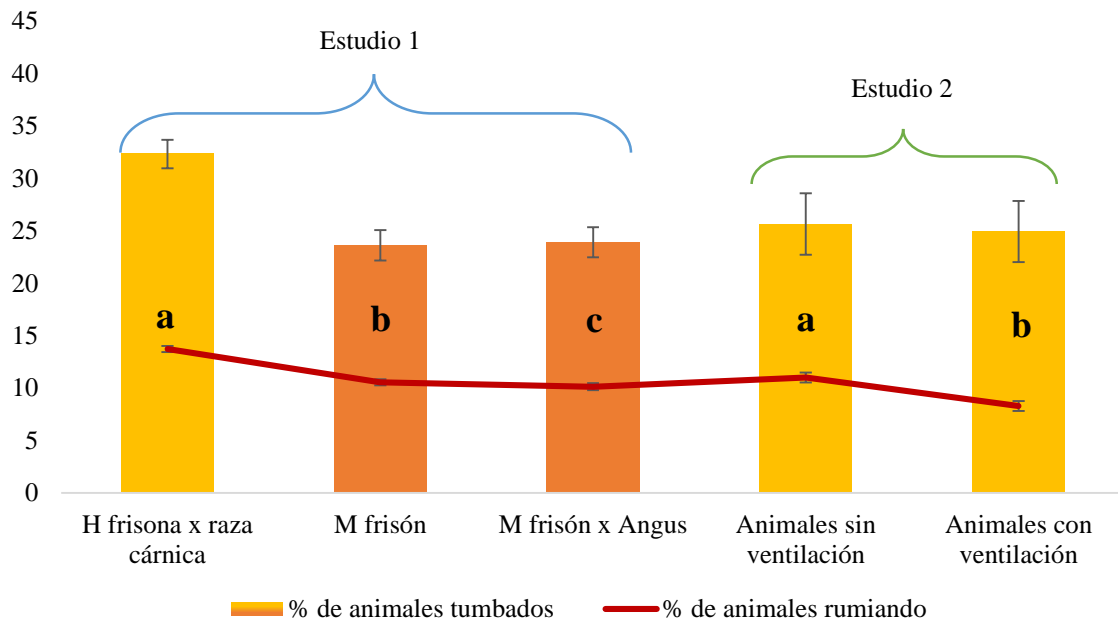


Figura 5. Relación de la actividad animal y el efecto de las esaciones del año: porcentaje de los animales tumbados (representados en barras por el color amarillo: sacrificio en verano y por el color naranja: sacrificio en otoño) y porcentaje de los animales rumiando (representados por la línea de color roja) de los diferentes tratamientos del **estudio 1** (**a**: Hembra frisona x raza cárnica sacrificada a los 10 meses de edad; **b**: macho frisón sacrificado a los 11 meses de edad y **c**: macho frisón x Angus sacrificado a los 12 meses de edad) y del **estudio 2** (**a**: animales sin ventilación y **b**: animales con ventilación).



Figura 6. Imagen tomada en granja de los animales con ventilación donde se puede observar a los animales de pie debajo de los ventiladores.

Cuando nos centramos en la actividad animal en matadero (registrada en tiempos de espera largos en el estudio 3), dicha actividad puede estar relacionada con el diseño y tamaño del corral (Haskell et al., 2014; Tucker et al., 2006, Drissler et al., 2005; Fregonesi et al., 2007a), densidad (Fregonesi et al. 2007b), ubicación y disposición del corral (Wagner-Storch et al., 2003) y tipo de suelo del corral (Fregonesi et al., 2004; Uzal & Uğurlu., 2010). Si observamos las medidas de los corrales del matadero de Buñol (Valencia) correspondientes a los transportes largos, los corrales fueron un 27% más grandes que los corrales del matadero de Vic (Barcelona) correspondientes a transportes cortos. Aun así, en ambos mataderos los animales tuvieron un espacio dentro de las recomendaciones. Kline et al. (2019) recomendó un espacio mínimo de $1.86 \text{ m}^2/\text{animal}$ cuanto estos tenían un peso vivo de 544 kg para poder tener espacio suficiente para tumbarse y levantarse. Así como lo mencionan los autores citados, el diseño de corrales puede afectar a la actividad aumentando el número de actividades cuando los terneros disponen de más espacio debido a la curiosidad que les genera el nuevo entorno. Por otra

parte, cuando los corrales son de menor tamaño se podría reducir el tiempo de reposo de los animales. En el estudio 3, se observa los animales con transportes cortos un aumento de la actividad en las primeras horas, aunque los corrales fueron de menor tamaño que en los de los transportes largos (Figura 7). Sin embargo, en el caso de los transportes largos con corrales de mayor tamaño a diferencia de los transportes cortos, el porcentaje de animales tumbados es superior en un inicio, por lo tanto, no solo se debe considerar el tamaño de los corrales, sino también el tiempo de transporte que puede afectar con mayor impacto comportamiento esperado; **Si tenemos en cuenta que en los transportes largos el tiempo de espera si afecta a la calidad de la carne (pH); se podría estudiar si la rumia en los corrales de espera en el matadero sería un buen indicador de estrés animal y calidad de carne si su descenso fuera de 20% a un 10% podría siendo un primer indicador de alarma.**

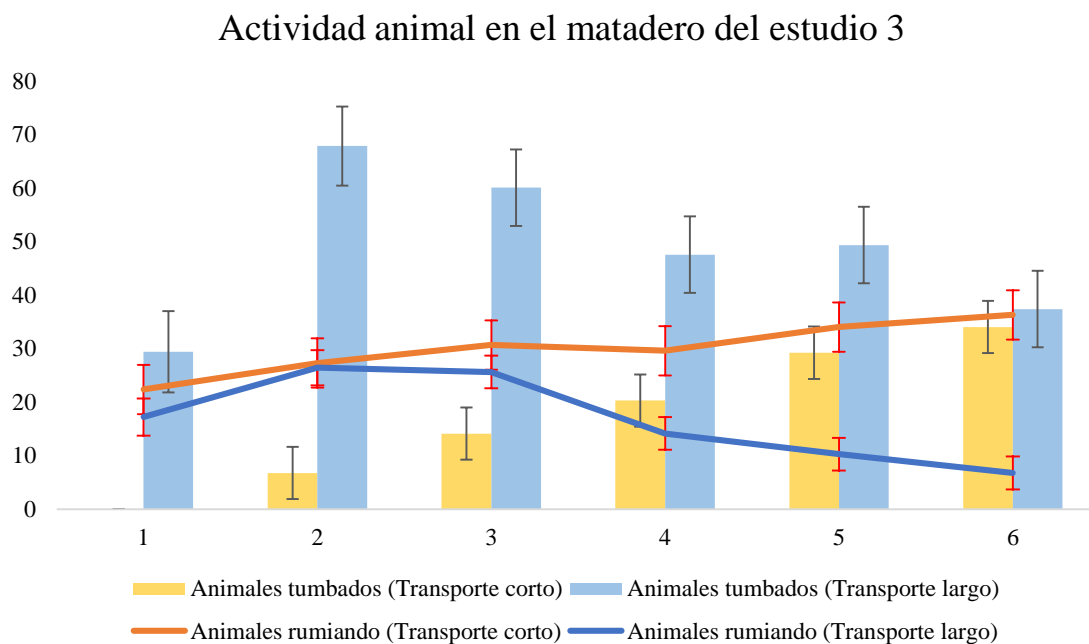


Figura 7. Relación de la actividad animal del estudio 3: porcentaje de los animales tumbados (representados en barras) y porcentaje de los animales rumiando (representados en líneas) a lo largo del tiempo de espera (6 h) del tratamiento tiempo de espera largo en matadero.

Otro aspecto a valorar sería si algunos marcadores fisiológicos relacionados con el comportamiento y el estrés nos podrían predecir problemas de calidad de la carne, entendidos principalmente como afectaciones en el pH de la carne. Como hemos visto existe una relación entre el comportamiento animal y calidad de la carne, además también las respuestas fisiológicas están vinculadas al comportamiento animal, por lo tanto, sería de esperar encontrar biomarcadores para predecir la calidad de la carne (Müller y von Keyserlingk, 2006; Petherick et al., 2009). En los estudios realizados se han analizado el lactato e la creatina quinasa (CK) como biomarcadores relacionados con el estrés (Chulayo y Muchenje, 2017). En el estudio 2, la concentración sérica de lactato varía en función del día y tratamiento, y no termina de ser un buen indicador. En el estudio 2, también se observó que los ventiladores tuvieron un efecto negativo sobre el descanso y la rumia y sobre la concentración sérica de CK en granja, pero curiosamente el pH de la carne no fue tan elevado como en el caso de los terneros sin ventiladores, por lo que en este caso la creatinina quinasa tampoco sería un biomarcador de la calidad final de la carne óptimo cuando están medidos en granja. Hubiera sido interesante ver los niveles de CK en el momento del sacrificio y relacionarlo con el comportamiento en granja y la calidad final de la carne. Así podríamos tener una mejor idea de ver si este marcador podría predecir la calidad de la carne. Aunque en el estudio 3 no se observó ninguna relación entre la concentración sérica de creatinina quinasa y el pH de la carne.

Por otra parte, existe un gasto energético previo al sacrificio generado por la cantidad de estrés del transporte, el ayuno, y de las condiciones de los lugares de estabulación en el matadero (Gregory, 2008; Grandin, 2010). Chulayo et al., (2012); como hemos comentado anteriormente, Romero et al., (2014) indicaron que la magnitud de la respuesta al estrés depende en gran medida del diseño del camión y las condiciones de transporte (es decir, densidad, temperatura y humedad del microambiente, vibración, estilo de conducción y paradas, y ayuno) porque los animales no están acostumbrados a estos entornos, lo que conduce a cambios en el metabolismo y a reducir la concentración sérica de glucosa. Así también, mezclar terneros desconocido durante el proceso de matanza aumenta las peleas, montas y otras actividades físicas que aumentan la incidencia de carnes DFD (Grandin, 1980; Kenny y Tarrant, 1987; Tennessee y Price, 1980), aunque

no es una práctica común en nuestro sistema de producción. En cuanto a la concentración sérica de glucosa en los estudios realizados, sólo se observó en el estudio 3 un incremento en los animales que tuvieron transportes cortos y tiempos de espera largos, probablemente porque los niveles séricos de glucosa en transportes largos ya eran elevados independientemente del tiempo de espera. A pesar de ello, la concentración sérica de glucosa y la incidencia de pH elevados en la carne no parece estar relacionado. **En resumen, ningún biomarcador sérico parece ser un buen indicador del pH de la carne a las 24-36 horas.**

1.3. Otros aspectos de la calidad de la carne registrados en los estudios como el color y su relación con los factores pre-sacrificio estudiados.

1. El color a las 24 o 36 h

El color se ve afectado por la raza, el manejo, el peso en el sacrificio, y el transporte (Chulayo et al., 2016). Se ha descrito que el color (valores de L*, a*, b*) es un parámetro útil para caracterizar la carne de vacuno de diferentes razas de ganado español (Insausti et al., 1999). En concreto, los valores de luminosidad (L*) pueden verse afectados según las referencias bibliográficas por la grasa de la carne, la edad del animal, el pH, la humedad, o el contenido y oxidación de la mioglobina muscular (Ferguson y Werner, 2008; Muchenje et al., 2009; Guzek et al., 2013). El color es importante ya que es uno de los criterios que el consumidor utiliza para escoger que carne comprar. Los consumidores buscan un color rojo atractivo y muestran menos preferencia por carnes extremadamente oscuras o pálidas (Jeremiah et al., 1972). El color rojo brillante proviene de la estructura de la mioglobina que se modifica generando cambios en la reflexión de luz y por lo tanto produce cambios en la coloración de la carne (Mancini y Hunt, 2005). En la presente tesis debido a que los niveles de vitamina E consumidos por las terneras cruzadas del estudio 1 no fue el mismo (ni el óptimo) comparado con el resto de los machos, es difícil de saber si los valores de L* fueron debido a la raza o a la falta de vitamina E. **Excluyendo a las hembras, comparando el resto de los datos, si parece que haya un efecto de la base animal sobre la luminosidad, tendencia al rojo o amarillo** (Figura 8). Bureš y Bartoň

(2018) observaron diferencias significativas de los parámetros de calidad entre las razas Angus y diferentes razas cruzadas (entre ellas la frisona) asociándolo con la cantidad de grasa intramuscular en la carne, pero en nuestros estudios no se han visto dichas diferencias en el contenido de grasa intramuscular a diferencia de los estudios mencionados. Cuvelier et al. (2006) observaron que la carne del Angus es más oscura en comparación a los animales de raza Limousine y Blue Belga. **Para profundizar sobre la base animal y su efecto sobre la luminosidad y la tendencia al rojo o amarillo de la carne harían falta más estudios con hembras cruzadas con razas cárnicas y machos frisones cruzados con Angus.**

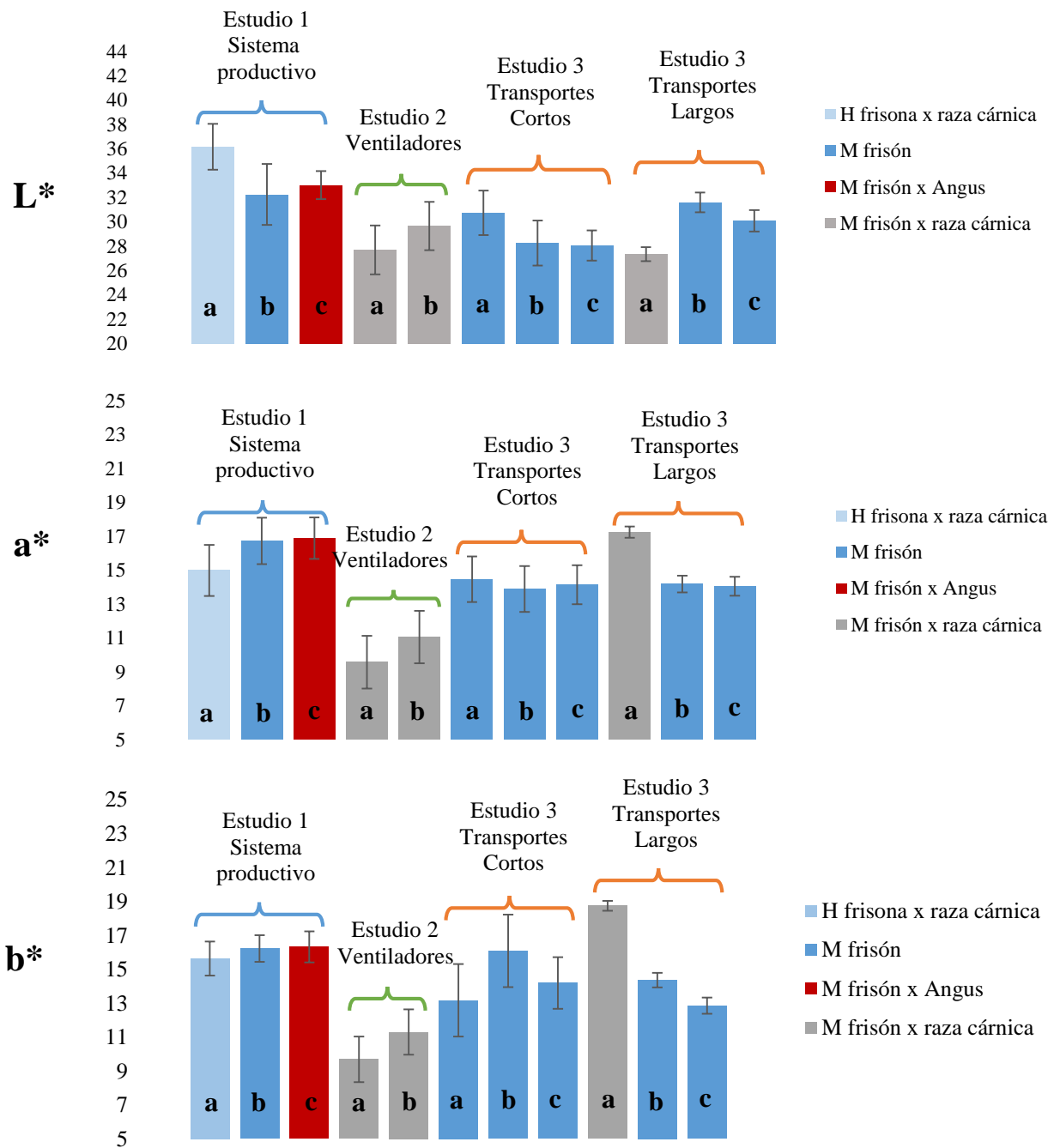


Figura 8. Influencia de las razas sobre la luminosidad (L*), tendencia al rojo (a*) y tendencia al amarillo (b*); (24 h post-mortem: estudio 1 y 2; 36 h post-mortem: estudio 3). **Estudio 1:** Sistema Productivo (**a:** hembras frisonas x raza cárnica; **b:** machos frisonas; **c:** macho frisón x Angus); **estudio 2:** Ventiladores (**a** y **b:** machos frisonas x raza cárnica) y **estudio 3:** transportes cortos (**a** y **b:** machos frisonas) y transportes largos (**a:** machos frisonas x raza cárnica; **b** y **c:** machos frisonas).

Cuando analizamos el tiempo de espera de los transportes largos y cortos (Figura 9) no se observó que estos factores tuvieran un efecto sobre la luminosidad de la carne. No obstante, una ligera diferencia sobre la tendencia al rojo o al amarillo se observó cuando comparamos la duración del transporte siendo mayor para los transportes largos (~ 10 h) en comparación con los transportes cortos (~ 3 h) sin tener un efecto del tiempo de espera. Sin embargo, en los transportes largos se pudo confundir, la duración del transporte y la raza del animal sacrificado ya que en transportes largos había terneros cruzados de razas carnias, cuya carne suele ser más oscura, más roja y más amarilla.

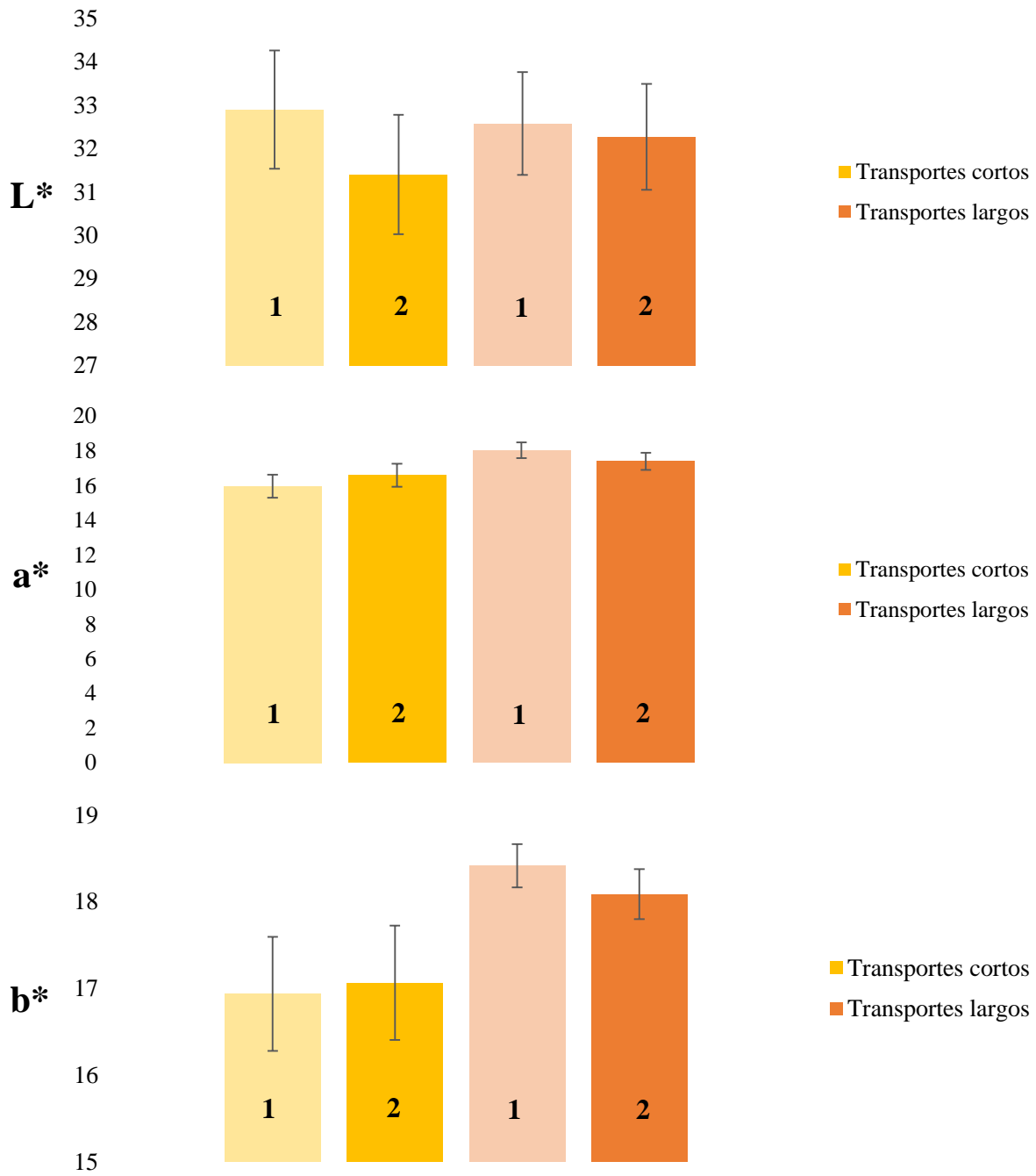


Figura 9. Influencia del tiempo de espera y la duración de los transportes sobre la luminosidad (L^*), la tendencia al rojo (a^*) y la tendencia al amarillo (b^*) del estudio 3 (transportes cortos: 24 h post-mortem; transportes largos: 36 h post-mortem) contemplados dentro del **estudio 3**: la duración del transporte (cortos: ~3 h; largos: ~10 h), el tiempo de espera en matadero (1: tiempo de espera corto; 1 a 2 h; 2: tiempo de espera largo; 6 h).

2. La evolución del color de las carnes envasadas en MAP

Tal y como se ha indicado el color es el parámetro más importante porque en el punto de venta los consumidores suelen asociar el color rojo cereza brillante de la carne fresca y el color rojo púrpura de la carne envasada al vacío como indicadores de salubridad (Faustman y Cassens, 1990, Hood y Riordan, 1973). Pero la estabilidad de color también es muy importante para la industria cárnica ya que los cortes de carne oscura suelen venderse a precios rebajados o se trituran para obtener productos de menor valor (como la carne picada), y si la carne es muy oscura, el producto puede llegar a desecharse.

En el estudio 3 se observó que la estación del año tenía un efecto sobre el color de la carne sobre todo en los primeros días de estar envasada en MAP. En los transportes cortos (~3 h) en invierno y verano se observaron diferencias en la tendencia al rojo de la carne afectando la vida útil del producto final en comparación con el otoño (Figura 10). Autores indican que la degradación del color de carne vacuno se ve favorecida por la disminución de la a^* (Smulders y Van Laack, 1989; Moore y Young; 1991). **Es decir, el transporte corto en tiempo de espera corto afectó la evolución de la tendencia al rojo, y cuando los tiempos de espera son largos, en otoño la tendencia al rojo puede ser baja (no deseable) desde un inicio (Figura 10). Se deberían hacer más estudios para corroborar el factor estación (comprobar efecto otoño y añadir efecto primavera), profundizar en los factores que causan dichos efectos y analizar si el impacto sobre la tendencia color rojo afecta a la decisión de comprar (a priori no parece que alcance valores críticos) para saber si habría que tomar medidas correctoras. En cuanto a los transportes largos ~10 h (Figura 10) existen claras diferencias en el valor inicial de tendencia al rojo según la época del año y el tiempo de espera, así como de la posterior evolución con los días en MAP.** Mientras la carne de animales sacrificados en verano parte de un valor de tendencia al rojo (<16) a las otras estaciones estudiadas y se va reduciendo independientemente del tiempo de espera hasta valores de aproximadamente 14; los animales sacrificados en invierno parten de un valor de tendencia al rojo superior (18-19) y dicho valor desciende linealmente hasta valores de 12 a los 12 días en MAP. Finalmente, las carnes de animales sacrificados en primavera

parten de valores entre 18 y 22 y se mantienen elevados durante todos los días en MAP (Figura 11).

En el caso la L^* de la carne de terneros después de un transporte corto, tiene una variación de valores mayores que en el verano en comparación con las demás estaciones estudiadas concretamente de los animales que esperaron en matadero un menor tiempo, aunque dicha diferencia no es significativa. No obstante, existe un efecto de la duración de transportes largos de animales que se sacrificaron en primavera, destacando una menor luminosidad a tiempo 1 post-ensado, pero aumentando los valores de L^* a lo largo del tiempo en MAP. Como lo comentamos anteriormente, una variación de la luminosidad sin una estabilidad en las bandejas MAP pueden tener un efecto negativo en la vida útil. Esta estabilidad no necesariamente debe de estar relacionada con el contenido de mioglobina que representa el color rojo de las carnes, las cuales, si fueron estables teniendo valores por debajo de los 22, sin un efecto importante del tiempo de espera en matadero. No existe una explicación clara para explicar la diferente evolución según la época del año, sin embargo, el impacto que pueda tener sobre las preferencias del consumidor puede que no sea significativa (entendiendo que no se han alcanzado valores de a^* bajos (<10) y luminosidad altos (>40) a los 12 días de MAP (Insusati et al., 1999). Un estudio realizado por Kim et al. (2003) el valor a^* de la carne de terneros sacrificados en otoño fue superior al de otras estaciones (primavera, verano, invierno) y el valor de b^* fue significativamente menor en la estación de invierno que en otras estaciones. **Por lo tanto, en transportes largos parece ser que la estación, más que el tiempo de espera, pueden afectar a la tendencia al rojo y por lo tanto a la aceptabilidad de la carne. Faltaría estudiar el efecto de la primavera en las carnes de los terneros después de un transporte corto y su variación sobre la vida útil para poder compararlo.**

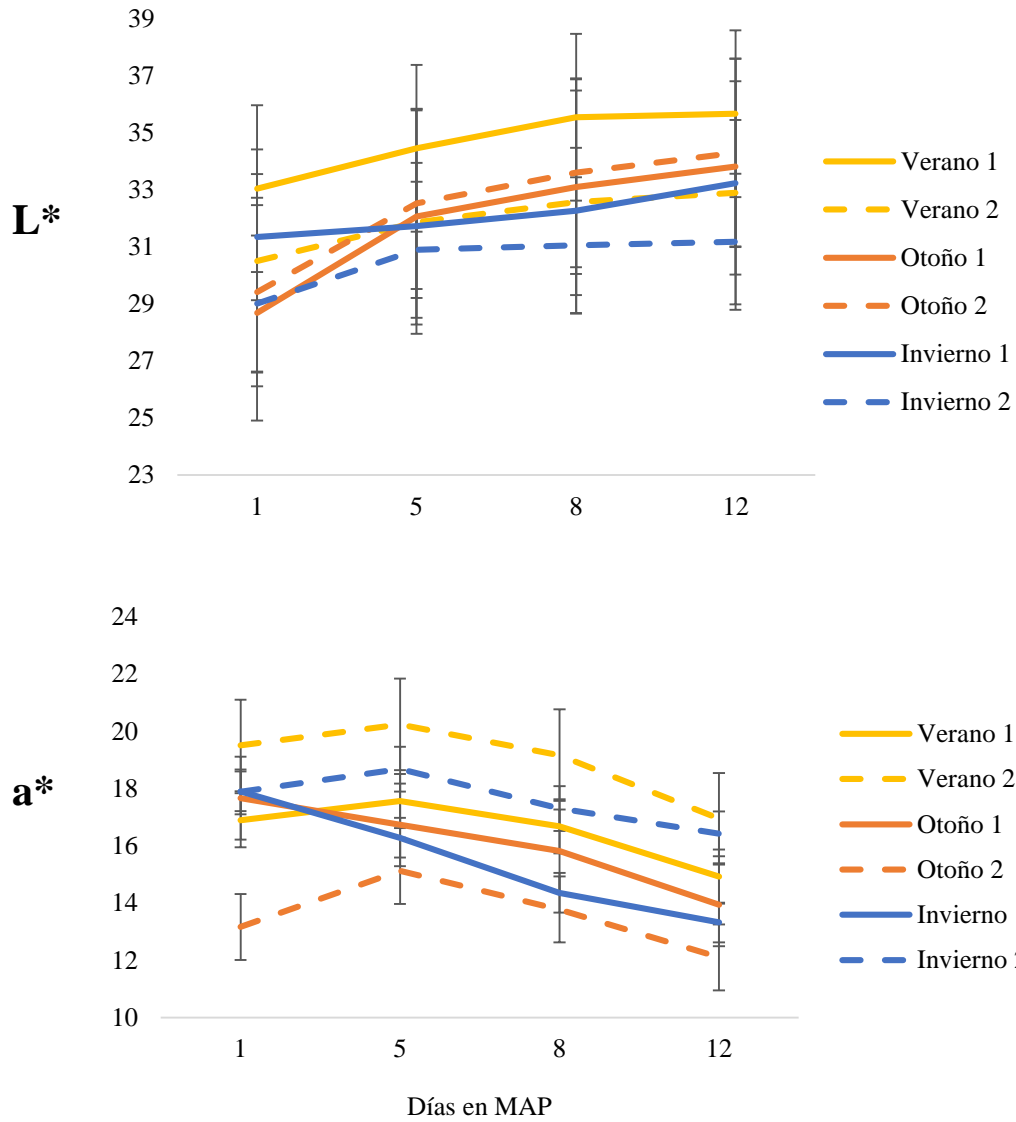


Figura 10. Influencia de las estaciones del año y del tiempo de espera en matadero (**1**: tiempo de espera corto; 1 a 2 h; **2**: tiempo de espera largo; 6 h) luego de un **transporte corto** sobre la luminosidad (L^*) y la tendencia al rojo (a^*) del estudio 3, evaluadas en los días 1, 5, 8 y 12 post-ensavado en MAP.

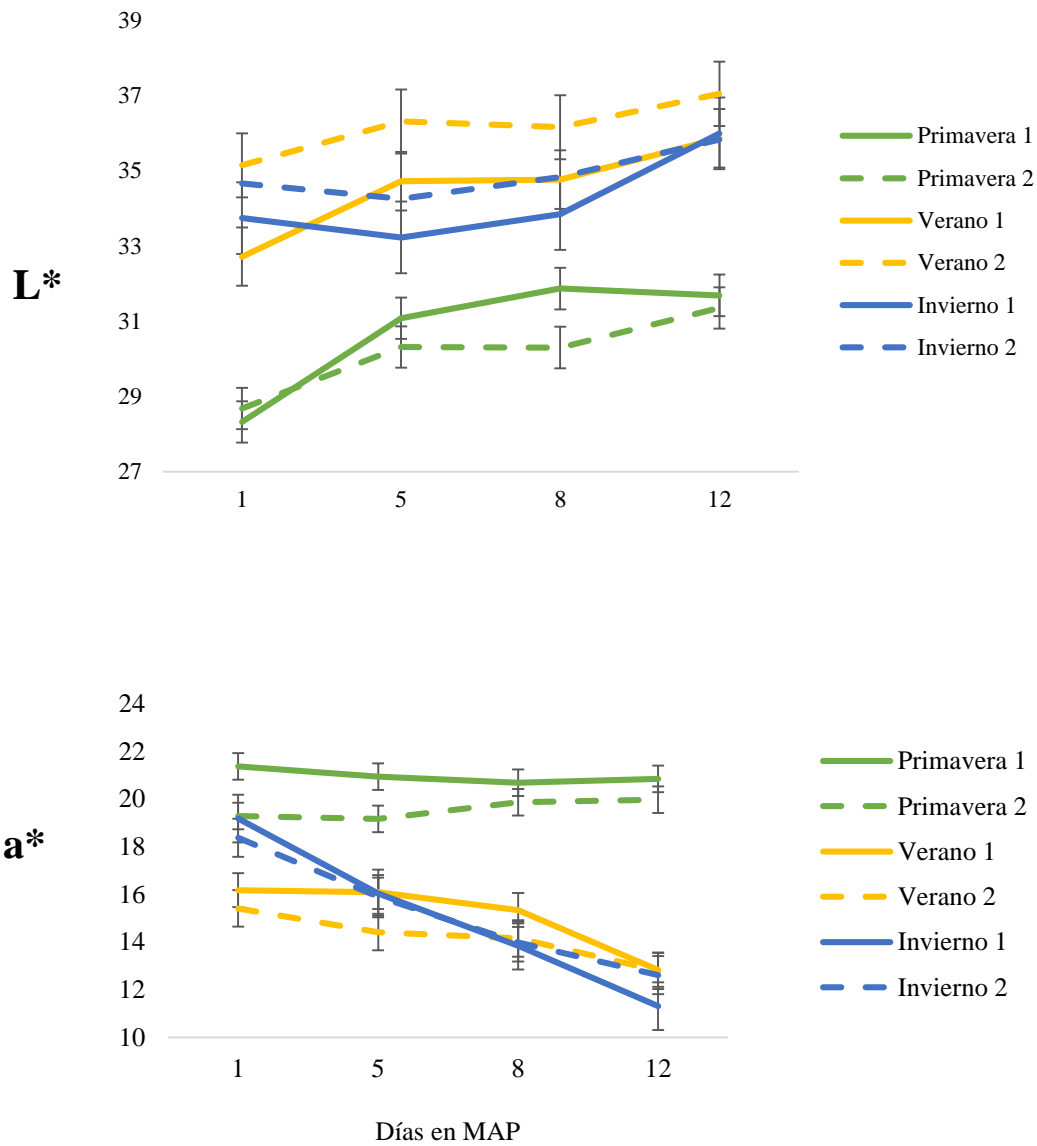


Figura 11. Influencia de las estaciones del año y del tiempo de espera en matadero (**1**: tiempo de espera corto; 1 a 2 h; **2**: tiempo de espera largo; 6 h) luego de un **transporte largo** sobre la luminosidad (L^*) y la tendencia al rojo (a^*) del estudio 3, evaluadas en los días 1, 5, 8 y 12 post-ensavado en MAP.

Si comparamos el posible efecto de la estación del año en los terneros frisones cruzados con razas cárnicas (estudios 2 y 3), que recordamos eran los que tenían pH finales superiores a los otros estudios, observamos que la estabilidad de la carne envasada en MAP parece ser diferente según la estación del año; la carne de los machos cruzados sacrificados en verano tuvo mayor luminosidad que la carne de los machos cruzados sacrificados en primavera (Figura 12). No se observó así con la tendencia al rojo, donde la carne de los machos cruzados sacrificados en primavera tuvo mayor tendencia al rojo en comparación con la carne de los machos cruzados sacrificados en verano (Figura 12). Esto puede ser debido al pH de la carne como mencionamos anteriormente. A pesar de que a día 1 la luminosidad de los terneros sacrificados en primavera sea menor, el valor de L* aumenta con los días cuando las carnes están envasadas en MAP. Contrario a ello la tendencia al rojo se mantiene estable hasta el día 12. **De nuevo, se pone de manifiesto que la carne de ternero cruzado con raza cárnica y en estaciones de verano e invierno con transportes largos es una carne que podría sufrir problemas de vida útil.**

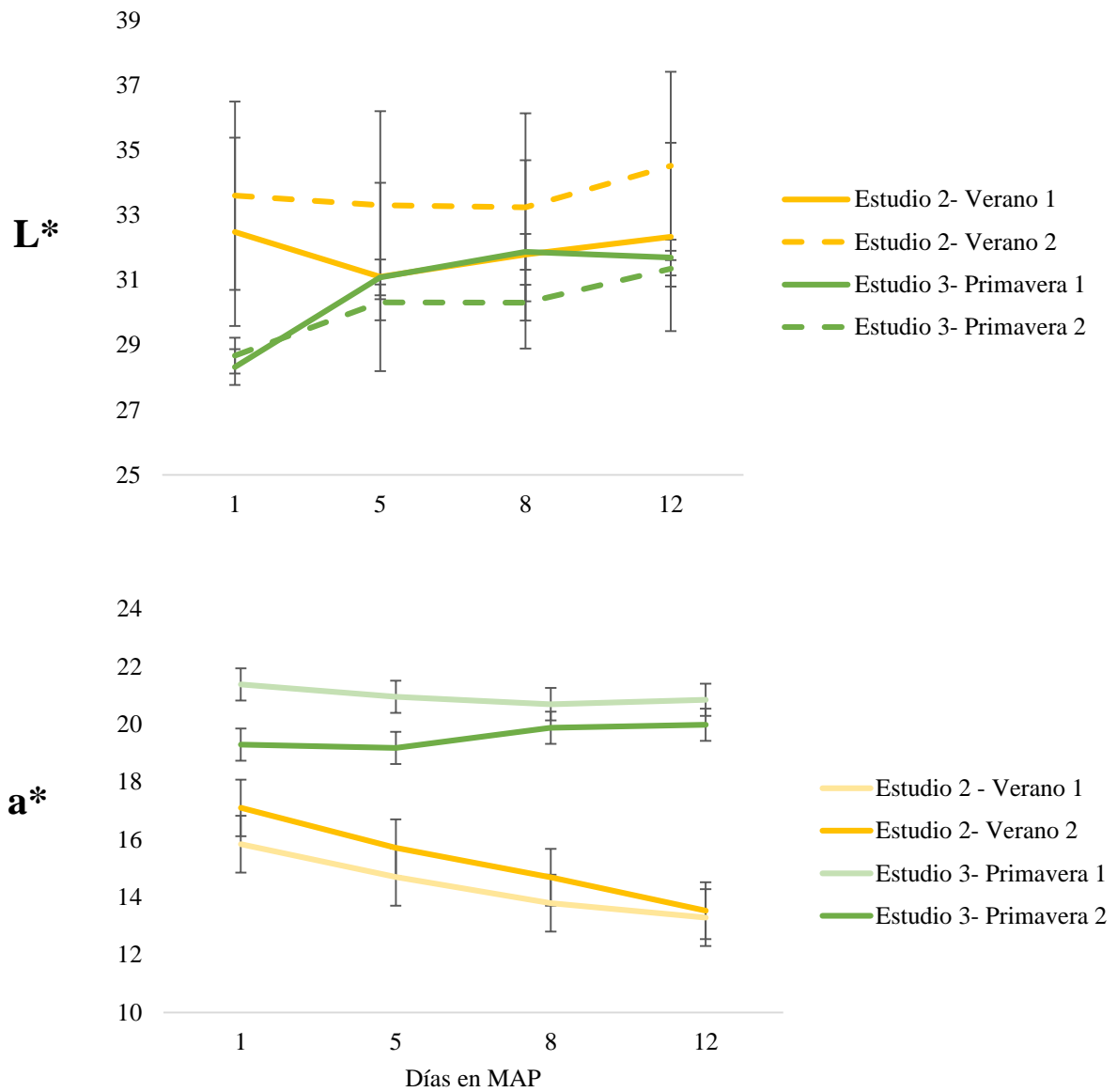


Figura 12. Influencia de las estaciones del año y de la raza (cruzados: **frisones x raza cárnica**) del **estudio 2** sacrificados en verano (**1**: Animales sin ventilación; **2**: Animales con ventilación) y del **estudio 3** sacrificados en primavera (**1**: tiempo de espera corto; 1 a 2 h; **2**: tiempo de espera largo; 6 h) sobre la luminosidad (L*) y la tendencia al rojo (a*) evaluadas en los días 1, 5, 8 y 12 post-ensado en MAP.





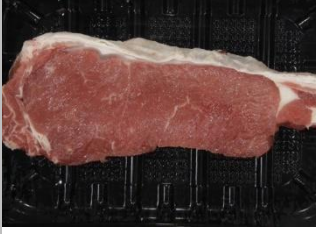











Días en MAP	Estudio 2		Estudio 3	
	Animales sin ventilación	Animales con ventilación	Transportes Cortos	Transportes Largos
1				
5				
8				
12				

Figura 13. Imágenes de los cortes de carne de 2,5 cm con pH normal ($5,6 \geq \text{pH} < 5,8$) dispuestas en bandejas con atmósfera modificada (MAP; 70% O²: 30% CO²) observadas en los días 1, 5, 8 y 12 post-ensado de los estudios 2 y 3.

3. Bibliografía

- Akyuz, A., Boyaci, S., Cayli, A. 2010. Determination of critical period for dairy cows using thermal humidity index. *J. Anim. Vet. Adv.* 9, 1824–1827.
- Almeida, S. L., Amendola, C. P., Horta, V. M., Sousa, É., Gusmão, C. A., Silva Júnior, J. M., & Rezende, E. 2006. Hiperlactatemia à admissão na UTI é um determinante de morbimortalidade em intervenções cirúrgicas não cardíacas de alto risco. *Revista Brasileira de Terapia Intensiva*, 18, 360-365.
- Andersen, H.R., Andersen, B.B., Bang, H.G. 2001. 'Beef crossbreeding: heifers versus bulls fed different concentrate: roughage ratio and slaughtered at different live weight' (in Danish). DJF rapport, Nr. 28. Ministry of Food, Agriculture and Fisheries, 82 pp.
- Blanco, M., Joy, M., Ripoll, G., Sauerweain, H., Casasús, I. 2011. Grazing Lucerne as fattening management for young bulls: technical and economic performance and diet authentication. *Animal* 5, 113–122.
- Bureš D., Bartoň L., Zahradková R., Teslík V., Krejčová M. 2006. Chemical composition, sensory characteristics, and fatty acid profile of muscle from Aberdeen Angus, Charolais, Simmental, and Hereford bulls. *Czech Journal of Animal Science* 51 (7), 279-284
- Bureš, D., & Bartoň, L. 2018. Growth performance, carcass traits and meat quality of bulls and heifers slaughtered at different ages. *Czech Journal of Animal Science*, 57, 34-43.
- Bureš, D.; Barton, L. 2012. Growth performance, carcass traits and meat quality of bulls and heifers slaughtered at different ages. *Czech J. Anim. Sci.* 57, 34–43.
- Cafe, L.M., Robinson, D.L., Ferguson, D.M., McIntyre, B.L., Geesink, G.H., Greenwood, P.L. 2011. Cattle temperament: persistence of assessments and associations with productivity, efficiency, carcass and meat quality traits. *J. Anim. Sci.* 89, 1452–1465.

- Chulayo, A. Y., O. Tada, and V. Muchenje. 2012. Research on pre- slaughter stress and meat quality: A review of challenges faced under practical conditions. *Appl. Anim. Husb. Rural Dev.* 5:1- 6.
- Chulayo, A.-Y.; Muchenje, V. 2017. *Activities of some stress enzymes as indicators of slaughter cattle welfare and their relationship with physico-chemical characteristics of beef. animal, (), 1–8.* doi:10.1017/S1751731117000222
- Cohen, R. D. H., King, B. D., Thomas, L. R., Janzen, E. D. 1990. Efficacy and stress of chemical versus surgical castration of cattle. *Canadian Journal of Animal Science.* **70**(4): 1063-1072. doi.org/10.4141/Cjas90-129
- Cook NB, Bennett TB, Nordlund KV. 2005. Monitoring indices of cow comfort in free-stall-housed dairy herds. *Journal of Dairy Science* 88, 3876–3885.
- Cuvelier C, Clinquart A, Hocquette JF, Cabaraux JF, Dufrasne I, Istasse L, Hornick JL. 2006. Comparison of composition and quality traits of meat from young finishing bulls from Belgian Blue, Limousin and Aberdeen Angus breeds. *Meat Sci* 74, 522-531
- del Campo, M.; Manteca, X.; Soares de Lima, J.M.; Brito, G.; Hernández, P.; Sañudo, C.; Montossi, F. 2021. Effect of Different Finishing Strategies and Steer Temperament on Animal Welfare and Instrumental Meat Tenderness. *Animals*, 11, 859. <https://doi.org/10.3390/ani11030859>
- Drissler M, Gaworski M, Tucker CB, Weary DM. 2005. Free-stall maintenance: effects on lying behavior on dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 88, 2381–2387.
- Fabiansson, S., Erichsen, I., Reuterswrd, A. L., & Malmfors, G. 1984. The incidence of dark cutting beef in Sweden. *Meat Science*, 10, 21–33
- Faustman, C., & Cassens, R. G. 1990. Influence of aerobic metmyoglobin reducing capacity on color stability of beef. *Journal of Food Science*, 55, 1278.
- Ferguson, D. M., & Werner, R. D. 2008. Have we underestimated the impact of pre-slaughter stress on meat quality in ruminants? *Meat Science*, 80,12–19.

- Fregonesi JA, Tucker CB, Weary DM, Flower FC, Vittle T. 2004. Effect of rubber flooring in front of the feed bunk on the time budgets of dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 87, 1203–1207.
- Fregonesi JA, Veira DM, von Keyserlingk MAG, Weary DM. 2007a. Effects of bedding quality on lying behavior of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 90, 5468–5472.
- Fregonesi JA, Tucker CB, Weary DM. 2007b. Overstocking reduces lying time in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 90, 3349–3354
- French, P., O’Riordan, E.G., Monahan, F.J., Caffrey, P.J., Vidal, M., Mooney, M.T., Troy, D.J., Moloney, A.P. 2000. Meat quality of steers finished on autumn grass, grass silage or concentrate-based diets. *Meat Sci* 56, 173–180.
- Gil Z., Węglarz A., Zapletal P., Felenczak A., Zych J. 2005. Effect of performance and post-slaughter factors on beef pH. In Polish, summary in English. *Roczniki Naukowe Zootechniki* 22, 91-95.
- Goñi M.V., Beriain M.J., Indurain G., Insausti K. 2007. Predicting *longissimus dorsi* texture characteristics in beef based on early post-mortem colour measurements. *Meat Science* 76, 38-45.
- Grandin, T. 1980. The effect of stress on livestock and meat quality prior to and during slaughter.
- Grandin, T. 2010. Auditing animal welfare at slaughter plants. *Meat Science*, 86,56–65.
- Grandin, T. 2006. Progress and challenges in animal handling and slaughter in the US. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 100, 129–139
- Gregory, N. G. 2008. Animal welfare at markets and during transport and slaughter. *Meat Science*, 80,2–11.
- Guzek, D., Głabska, D., Pogorzelski, G., Kozan, K., Pietras, J., Konarska, M., Wierzbicka, A. 2013. Variation of meat quality parameters due to conformation and fat class in Limousin bulls slaughtered at 25 to 27 months of age. *Asian Australasian Journal of Animal Science*, 26(5), 716–722.

- Haley DB, Rushen J, De Passile AM. 2000. Behavioural indicators of cow comfort: activity and resting behaviour of dairy cows in two types of housing. *Can J Anim Sci.* 80:257–263.
- Haskell, M. J., G. Simm, and S. P. Turner. 2014. Genetic selection for temperament traits in dairy and beef cattle. *Front. Genet.* 5:368. doi:10.3389/fgene.2014.00368
- Hood, D. E., & Riordan, E. B. 1973. Discoloration in pre-packaged beef: measurement by reflectance spectrophotometry and shopper discrimination. *Journal of Food Technology*, 8(3), 333–343.
- Hughes, J. M., F. M. Clarke, P. P. Purslow, and R. D. Warner. 2020. Meat color is determined not only by chromatic heme pigments but also by the physical structure and achromatic light scattering properties of the muscle. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 19:44–63. doi:10.1111/1541-4337.12509.
- Huskonen, A., Pesonen, M., Kämäräinen, H., Kauppinen, R. 2014. Production and carcass traits of purebred Nordic Red and Nordic Red×beef breed crossbred bulls. *J. Agric. Sci.* 152, 504–517.
- Insausti, K., M. J. Beriain, A. Purroy, P. Alberti, L. Lizaso, and B. Hernandez. 1999. Colour stability of beef from different Spanish native cattle breeds stored under vacuum and modified atmosphere. *Meat Sci.* 53:241–249. doi:10.1016/S0309-1740(99)00063-7.
- Jeremiah, L. E., Carpenter, Z. L., & Smith, G. C. 1972. Beef colour as related to consumer acceptance and palatability. *Journal of Food Science*, 37, 476–479.
- Kadim IT, Mahgoub O, Al-Ajmi DS, Al-Maqbaly RS, Al-Mugheiry SM, Bartolome DY. 2004. The influence of season on quality characteristics of hot-boned beef *m. longissimus thoracis*. *Meat Sci* 66(4): 831–836. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2003.08.001>
- Keane, M.G., More O'Ferrall, G.J., Connolly, J. 1989. Growth and carcass composition of Friesian, Limousine x Friesian and Blonde d'Aquitaine x Friesian steers. *Anim. Prod.* 48, 353–365.

- Kenny FJ and Tarrant PV. 1987. The physiological and behavioural responses of crossbred Friesian steers to short-haul transport by road. *Livestock Production Science* 17, 63–75.
- KimYS, Yoon SK, Song YH, Lee SK. 2003. Effect of season on color of Hanwoo (Korean native cattle) beef. *Meat Sci* 63(4):509–513. [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(02\)00112-2](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(02)00112-2)
- Kohli, S., Atheya, U.K., Thapliyal, A. 2014. Assessment of optimum thermal humidity index for crossbred dairy cows in Dehradun district, Uttarakhand, India. *Vet. World* 7, 916–921.
- Lomiwes, D., Farouk, M. M., Wu, G., & Young, O. A. 2014. The development of meat tenderness is likely to be compartmentalised by ultimate pH. *Meat Science*, 96,646–651.
- Mach N., Bach A., Velarde A., Devant M. 2008. Association between animal, transportation, slaughterhouse practices, and meat pH in beef. *Meat Science* 78, 232–238.
- Mach, N., A. Bach, A. Velarde, and M. Devant. 2008. Association between animal, transportation, slaughterhouse practices, and meat pH in beef. *Meat Sci.* 78:232–238. doi:10.1016/j.meatsci.2007.06.021.
- Mach, N., Bach, A., Realini, C.E., Font i Furnols, M., Velarde, A., Devant, M. 2009. Burdizzo pre-pubertal castration effects on performance, behavior, carcass characteristics, and meat quality of Holstein bulls fed high-concentrate diets. *Meat Sci.* 81, 329–334. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.08.007>.
- Mancini, R. A., & Hunt, M. C. 2005. Current research in meat color. *Meat Science*, 71(1), 100–121.
- Marshall, D. M. 1994. Breed differences and genetic parameters for body composition traits in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 72:2745.

- Marti, S., Jackson, J. A., Sloomans, N., Lopez, E., Hodge, A., Pérez-Juan, M., Amatayakul-Chantler, S. 2017. Effects on performance and meat quality of Holstein bulls fed high concentrate diets without implants following immunological castration. *Meat Science*, 126, 36–42. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.11.013>
- Mitlohner FM, Morrow JL, Dailley JW, Wilson SC, Galvayan ML, Miller MF and McGlone JJ. 2001. Shade and water misting effects on behaviour, physiology, performances, and carcass traits of heat-stressed feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 79, 2327–2335
- Moore, V. J., & Young, O. A. 1991. The effect of electrical stimulation, thawing, ageing and packaging on the colour and display life of lamb chops. *Meat Science*, 30, 131–145.
- Muchenje, V., Dzama, K., Chimonyo, M., Strydom, P. E., Hugo, A., & Raats, J. G. 2009. Some biochemical aspects pertaining to beef eating quality and consumer health: A review. *Food Chemistry*, 112, 279–289. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.05.103>
- Müller, R., von Keyserlingk, M.A.G. 2006. Consistency of flight speed and its correlation to productivity and to personality in *Bos taurus* beef cattle. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 99, 193–204
- Murphy, B., Crosson, P., Kelly, A.K., Prendiville, R. 2017. Animal performance and economic implications of alternative production systems for dairy bulls slaughtered at 15 months of age. *Irish J. Agric. Food Res.* 56, 93–103
- Nardone, A., Ronchi, B., Lacetera, N., Ranieri, M.S., Bernabucci, U. 2010. Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livest. Sci.* 130, 57–69.
- Overton MW, Moore DA, Sisco WM. 2003. Comparison of commonly used indices to evaluate dairy cattle lying behavior. ASAE Paper No.701P0203. St Joseph, MI, ASAE.

- Page J.K., Wulf D.M., Schwotzer T.R. 2001. A survey of beef muscle color and pH. *Journal of Animal Science* 79, 678-687.
- Petherick, J.C., Doogan, V.J., Venus, B.K., Holroyd, R.G., Olsson, P. 2009. Quality of handling and holding yard environment, and beef cattle temperament: 2. Consequences for stress and productivity. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 120, 28–38.
- Phillips, C. J. C. 1993. *Cattle Behaviour*. Farming Press Books, Ipswich.
- Raes K., Balcaena A., Dirinckb P., De Winneb A., Claeysa E., Demeyera D., De Smet S. 2003. Meat quality, fatty acid composition and flavour analysis in Belgian retail beef. *Meat Science* 65, 1237-1246.
- Romero, M. H., Uribe-Velásquez, L. F., & Sánchez, J. A. 2014. Physiological profiles of Zebu steers during transport and pre-slaughter. *Revista Colombiana de Ciencias*
- Smulders, F. J. M., & Van Laack, R. L. J. M. 1989. Colour and colour stability of hamburgers prepared from electrically stimulated, hot vs cold boned, closely trimmed beef. *Proc. 35th ICoMST*, 1168±1169
- Schütz, K., Clark, K., Cox, N., Matthews, L., & Tucker, C. 2010. Responses to short-term exposure to simulated rain and wind by dairy cattle: Time budgets, shelter use, body temperature and feed intake. *Animal Welfare*, 19(4), 375-383. doi:10.1017/S0962728600001858
- Steen R.W.J., Kilpatrick D.J. 1995. The effect of plane of nutrition and slaughter weight on the carcass composition of serially slaughtered bulls, steers and heifers of three breed crosses. *Livestock Production Science*, 43, 205–213.
- Tennessen, T., Price, M. 1980. Pre-slaughter management and dark cutting in young bulls. *J. Anim. Sci.* 51, 110.
- Tucker CB, Zdanowicz G, Weary DM. 2006. Brisket boards reduce freestall use. *Journal of Dairy Science* 89, 2603– 2607.

- Tucker, C. B., A. R. Rogers, and K. E. Schütz. 2008. Effect of solar radiation on dairy cattle behaviour, use of shade and body temperature in a pasture-based system. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 109:141–154. doi:10.1016/j.applanim.2007.03.015.
- Uzal S, Uğurlu N. 2010. The time budget of dairy cows as affected by season and housing system. *Journal of International Environmental Application and Science* 5, 638–647.
- Viljoen, H. F., de Kock, H. L., & Webb, E. C. 2002. Consumer acceptability of dark, firm and dry (DFD) and normal pH beef steaks. *Meat Science*, 61(2), 181–185.
- Wagner-Storch AM, Palmer RW, Kammel DW. 2003. Factors affecting stall use for different freestall bases. *Journal of Dairy Science* 86, 2253–2266.
- Węglarz A., Zapletal P., Gil Z., Skrzyński G., Adameczyk K. 2002. The effect of sex and age on beef quality. In Polish, summary in English. *Zeszyty Naukowe Przeglądu Hodowlanego* 62, 211-216.
- Węglarz, A. 2010. Quality of beef from semi-intensively fattened heifers and bulls. *Anim. Sci. Pap. Reports.* 28:207–218.
- Wheeler, T. L., L. V. Cundiff, S. D. Shackelford, and M. Koohmaraie. 2004. Characterization of biological types of cattle (Cycle VI): Carcass, yield, and longissimus palatability traits. *J. Anim. Sci.* 82:1177–1189.
- Wulf D.M., Wise J.W. 1999. Measuring muscle color on beef carcasses using the L* a* b* color space. *Journal of Animal Science* 77, 2418-2427.
- Zähner, M., Schrader, L., Hauser, R., Keck, M., Langhans, W., & Wechsler, B. 2004. The influence of climatic conditions on physiological and behavioural parameters in dairy cows kept in open stables. *Animal Science*, 78(1), 139-147. doi:10.1017/S1357729800053923

CAPITULO VII

Conclusiones finales



Conclusiones

La presente tesis tenía como objetivo general identificar los factores que inciden en el estrés de los terneros de engorde los cuales están íntimamente relacionados con la calidad de la canal y la carne, principalmente el pH y el color de la carne, a fin de definir estrategias de mejora a nivel de granja, transporte y sacrificio de dentro de un sistema de producción intensivo. Tras la realización de diferentes estudios y la discusión general:

En cuanto a los sistemas productivos se podría concluir que:

1. Tras comparar el comportamiento, la calidad de la canal y la calidad de la carne de tres sistemas productivos, hembras cruzadas con razas cárnicas sacrificadas a los 10 meses de edad, machos frisonos sacrificados a los 11 meses de edad y machos frisonos cruzados con Angus sacrificados a los 12 meses de edad,
 - Los machos frisonos a pesar de tener una mayor actividad sexual y agonista tuvieron el menor pH de la carne
 - Las hembras tuvieron la peor calidad de carne, color, percepción de color y vida útil, probablemente debido a un consumo de antioxidantes deficiente
 - La vida útil de la carne de los machos cruzados fue menor que la de los machos frisonos y no hubo ninguna mejora en la calidad de la carne del cruce con machos Angus

Así, pues, excepto en el caso de las hembras, los sistemas productivos (raza, sexo, edad de sacrificio) estudiados no tuvieron un gran impacto sobre el comportamiento y la calidad de la carne.

2. Sin embargo, cuando se realiza visión conjunta de todos los estudios de la tesis,
 - La carne proveniente de los machos frisonos cruzados con razas cárnicas sacrificados a los 12-13 meses de vida podrían tener una predisposición a tener pH de la carne elevados; ello podría variar en función de la estación del año (la primavera y el verano podrían ser las estaciones más críticas).

- En el caso de la carne de macho frisón sacrificados a los 11 meses de edad, tal y como se observó en el primer estudio, no parece ser un sistema productivo crítico para la aparición de pH de carne elevados, aunque faltaría comprobar dicha hipótesis en los meses de primavera.

En cuanto a factores ambientales en la granja como el uso de ventiladores para reducir el estrés por calor:

3. Tras comparar el crecimiento, comportamiento, y la calidad de la carne al utilizar ventiladores de techo durante los meses de verano en el período de acabado de terneros cruzados,
 - Al contrario de lo esperado, los ventiladores de techo instalados en naves parcialmente abiertas redujeron el crecimiento, y el bienestar de los animales (menos rumia, más estereotipias) ya que la densidad animal debajo del ventilador aumentaba incrementando las interacciones y el tiempo que los animales permanecían de pie.
 - Sin embargo, los ventiladores redujeron la humedad del encamado y esto podría reducir el coste de producción por menor uso de paja y horas de limpieza.
 - A pesar los efectos negativos en crecimiento e bienestar, el pH de la carne fue menor en los corrales con ventiladores sin grandes impactos sobre las restantes características de la calidad de la carne.

Por lo tanto, no se recomienda el uso de ventiladores tal y como se instalaron (entre 2 corrales), pues podría empeorarse el bienestar animal en caso de olas de calor más severas.

En cuanto al tiempo de transporte al matadero y espera en los corrales:

4. Tras comparar el comportamiento, la calidad de la canal y la carne en terneros transportados durante 3 h vs 10 h que tuvieron tiempos de espera < 2 h o entre 7-8 h en los corrales de espera en el matadero,
 - Por lo general, las distancias de transporte estudiadas y la duración de la espera en los corrales en el matadero, representativos de situaciones extremas en España, tuvieron un impacto leve sobre la calidad de la canal y de la carne.
 - En los transportes cortos (hasta 3 horas) el tiempo de espera en matadero (hasta 6 horas) no tuvo un impacto sobre la calidad de la carne.
 - Por el contrario, cuando los transportes son largos no se deberían superar tiempos de espera superiores a 3 horas ya que la rumia descendió y el pH de la carne aumentó ligeramente con el riesgo de tener más carnes oscuras, secas y firmes.

5. Analizando todos los estudios en conjunto, parece ser que la base animal y la duración del transporte y tiempo de espera en el matadero deberían estudiarse con mayor profundidad en función de la estación del año. Se debería comprobar, si la carne de ternero frisón cruzado con raza cárnica y en estaciones de verano e invierno con transportes largos podría conllevar problemas de vida útil en la carne.

En la búsqueda de biomarcadores para predecir la calidad de la carne:

6. Ningún biomarcador sérico ya sea en granja o al sacrificio parece ser un buen indicador del pH de la carne a las 24-36 horas.
7. Si tenemos en cuenta que en los transportes largos el tiempo de espera si afecta a la calidad de la carne (pH); se podría estudiar la rumia como un buen indicador de estrés animal y calidad de carne.

Finalmente, como conclusión final:

8. La incidencia de problemas de calidad de carne es baja, indicando que en general el manejo pre-sacrificio en los sistemas productivos estudiados es bueno.
9. Pero se debería profundizar en los siguientes factores:

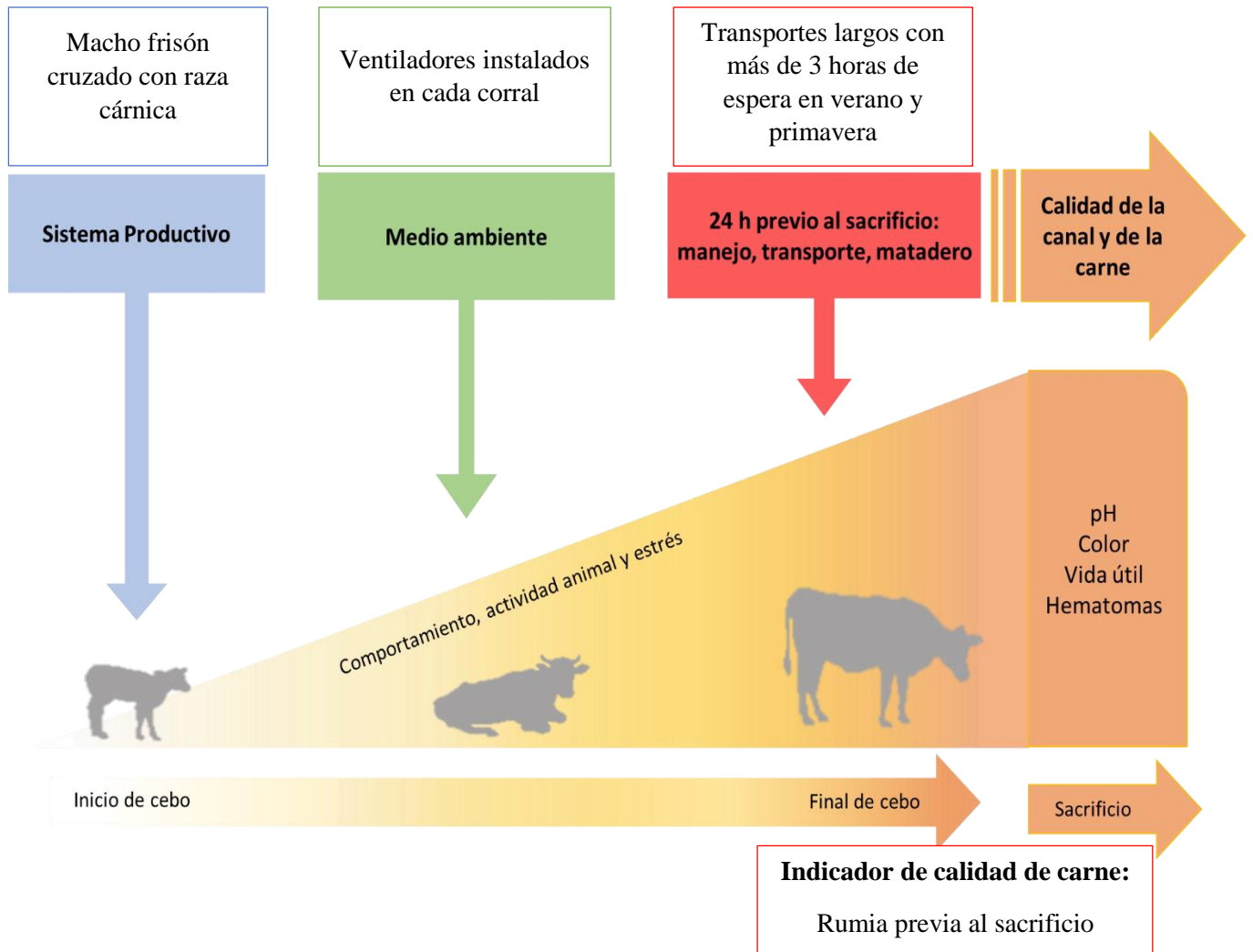


Figura 1. Principales factores de pre-sacrificio con influencia sobre los indicadores de calidad de la canal y de la carne y las mejoras de estrategias a implementar según resultados obtenidos en los estudios 1, 2 y 3.