

Título del trabajo: "Validación de los *n*-alcanos como marcadores para estimar la ingestión y digestibilidad en cerdos."

Nombre del Autor: Juan Pablo Méndez Cante

Fecha: Octubre 2013

Agradecimientos

Quiero agradecer al Director Ignacio Romagosa y a Armando Occón coordinador del área de producción animal del IAMZ por la oportunidad y ayuda brindada.

Agradezco a todas las personas que participaron directa e indirectamente en la realización de este trabajo, comenzando por Gonzalo por su invaluable labor en la fabricación, adaptación, y mejoras de las instalaciones experimentales, a Belén, Ana y Jesús, por su brillante ayuda técnica, sin la que no hubiese podido analizar las muestras de este experimento, a los profesores y becarios del departamento de nutrición animal de la UZ que hicieron divertido y ameno cada día. A mis asesores María Angeles Latorre y Antonio de Vega, por sus conocimientos, tiempo y paciencia ofrecidos en todo momento y sin los cuales este trabajo no se hubiese podido realizar.

También quiero agradecer infinitamente a los amigos que me acompañaron durante todo este tiempo, que son tantos como naciones hay en el mundo y muy en especial a Damaris, gracias por soportarme. Y finalmente a Dios, mi madre, y hermanos por su amor y apoyo incondicional durante este proceso. A ellos está dedicado este esfuerzo.

Resumen

En cualquier sistema de producción, la ingestión voluntaria de los alimentos es uno de los principales factores a considerar cuando se pretende predecir el estado nutricional de los animales u optimizar la utilización de los recursos alimenticios propios o adquiridos. En el caso de los cerdos, el conocimiento exacto de la ingestión y de sus principios reguladores permitirá la formulación de raciones que aseguren la ingestión de cantidades suficientes, pero no excesivas, de nutrientes que permita optimizar el rendimiento de los animales. La determinación de la ingestión es, por tanto, básica para el desarrollo de programas nutricionales.

La dificultad para medir la ingestión individual en condiciones prácticas de explotación ha obligado a utilizar marcadores tanto internos (constituyentes del alimento) como externos, aunque ninguno de ellos ha mostrado ser idóneo para la estimación conjunta de la ingestión y digestibilidad. Los *n*-alcanos o parafinas, hidrocarburos alifáticos saturados que forman parte natural de las ceras insaponificables de la cutícula de las plantas, han sido ensayados con relativo éxito en rumiantes como marcadores internos, aunque en cerdos apenas se han utilizado.

Con el objetivo de validar el método de los *n*-alcanos para estimar la ingestión y digestibilidad individual en cerdos alojados en grupo, se realizó un estudio con 12 cerdos Landrace X Large White, todos machos castrados, de $44,9 \pm 0,78$ kg de peso vivo y 15 semanas de edad, alimentados con una dieta comercial para cerdos de ese peso. El ensayo se dividió en tres períodos (para comprobar si la edad de los animales y el nivel de alimentación podía tener influencia sobre los resultados obtenidos). Durante ese tiempo la mitad de los animales fue alimentada *ad libitum* y la otra mitad a un plano restringido (60% de *ad libitum* en los períodos 1 (P1) y 2 (P2), y 80% en el período 3 (P3)), con el propósito de comprobar si el nivel de alimentación podía influir sobre la recuperación fecal de los *n*-alcanos. En los tres períodos se llevó a cabo un balance de digestibilidad *in vivo* y un estudio de la recuperación fecal de los alkanos naturales (constituyentes del pienso), mientras que en los períodos 2 y 3 se administraron alkanos sintéticos (tetracosano (C_{24}), octacosano (C_{28}), dotriacantano (C_{32}) y hexatriacantano (C_{36}), en una matriz de fructosa, con el fin de estudiar su recuperación. Durante el Período 2 se administraron los alkanos sintéticos una vez al día, por la mañana (09:30 h) y durante el Período 3 dos veces al día, por la mañana y por la tarde (9:30 y 18:00 h), repartiendo la misma dosis administrada en el Período 2 en las dos tomas. Durante los Períodos 2 y 3 también se tomaron muestras puntuales de heces del recto de cada animal dos veces al día: por la mañana (9:30 h) y por la tarde (18:00 h), para el análisis de su concentración en alkanos. La recuperación fecal de las cenizas insolubles en detergente ácido (CIDA), también fue determinada en los tres períodos experimentales.

Como se esperaba, la ingestión de los cerdos aumentó con su edad, y fue superior para los animales alimentados *ad libitum* (valores medios de 2016 g/día y 1399 g/día para los cerdos alimentados *ad libitum* o a un nivel restringido, respectivamente). En cuanto a las digestibilidades *in vivo*, sólo existieron diferencias ($P<0,0001$) entre periodos (excepto para la materia seca), con valores inferiores en P1 (84,7%, 82,1% y 48,5% para la materia orgánica (MO), proteína bruta (PB) y fibra neutro detergente (FND), respectivamente) y sin diferencias entre P2 (85,9%, 84,8% y 56,2% para MO, PB y FND) y P3 (86,0%, 84,7% y 53,7%, respectivamente). En el caso de la recuperación fecal de las CIDA, la tendencia se mantuvo, con menores valores en el P1 (47,3%) y sin diferencias entre los otros dos (60,3% y 61,3% para P2 y P3, respectivamente).

La recuperación fecal de los diferentes *n*-alcanos naturales no se vió afectada ni por el plano de alimentación, dentro de cada periodo experimental, ni por la edad de los animales, siguiendo una evolución creciente-decreciente con la longitud de cadena, con un máximo en torno a los 28-29 carbonos. En el caso de los alkanos dosificados, la recuperación fue mucho más alta que la de los naturales, y fue afectada por el plano de alimentación y la edad de los animales. Estos resultados indican que estos hidrocarburos pueden ser vehiculados en la fase líquida de la digesta, cuyo ritmo de tránsito está muy influenciado por el plano de alimentación.

La estimación de la ingestión a partir de la concentración de alkanos en las heces totales diarias recogidas en los periodos de balance, corregida para su recuperación fecal, ofreció valores no estadísticamente diferentes de los observados *in vivo*, independientemente de la combinación de alkanos pares/impares utilizada. Sin embargo, las menores desviaciones se obtuvieron con las combinaciones en las que intervenían los alkanos dosificados C₂₄ y C₂₈. Por ello, las estimaciones de las ingestiones a partir de las concentraciones fecales de alkanos en muestras puntuales de heces se restringieron a las combinaciones con estos hidrocarburos, considerando recuperaciones diferentes para los adyacentes de cadena par e impar. En este caso, sólo se encontraron diferencias significativas entre animales ($P<0,0001$), y debidas a la interacción triple entre el plano de alimentación, el periodo experimental y la forma de estimación de la ingestión ($P=0,041$). El muestreo de heces puntual produjo subestimaciones medias de la ingestión, con respecto al valor obtenido *in vivo*, del 16,8% ($\pm 2,79\%$; n=32) y 20,4% ($\pm 6,30\%$; n=32) con las muestras de la mañana y de la tarde, respectivamente, mientras que los valores combinados de los dos muestreos produjeron una subestimación del 6,1% ($\pm 2,66\%$; n=32). Las grandes diferencias en las concentraciones fecales de los alkanos dosificados entre los dos muestreos, y por tanto su variación circadiana, parecen ser el origen de las discrepancias.

En lo que respecta a la digestibilidad, la estimación a partir de la concentración de alkanos en las heces totales diarias recogidas en los periodos de balance, corregida para su recuperación fecal, ofreció valores no estadísticamente diferentes de los

observados *in vivo*, independientemente del alcano considerado. Sin embargo, las menores desviaciones se consiguieron con los alcanos C₂₁ (heneicosano), C₂₉ (nonacosano), C₃₀ (triacontano) y C₃₁ (hentriaccontano), que fueron los que se emplearon para estimar la digestibilidad a partir de su concentración en las muestras puntuales de heces. Los valores así obtenidos, y aplicando las recuperaciones fecales individuales de cada cerdo, subestimaron a los hallados *in vivo* en un -1,0% ($\pm 1,02\%$; n=4) cuando se utilizaron las muestras de la mañana, y en un -1,1% ($\pm 1,40\%$; n=4) cuando se utilizaron las de la tarde, mientras que el uso combinado de ambas produjo una sobreestimación del 0,5% ($\pm 0,29\%$; n=4). Cuando se consideraron las recuperaciones medias de alcanos, las desviaciones fueron del -3,9% ($\pm 2,83\%$; n=4) con la muestra de la mañana, del -4,5% ($\pm 2,72\%$; n=4) con la de la tarde, y del -3,0% ($\pm 1,66\%$; n=4) con el valor medio. Estos valores tan próximos a los obtenidos *in vivo*, a diferencia de lo que ocurre con las estimaciones de la ingestión, son consecuencia de la utilización exclusiva de los alcanos naturales evitando, por tanto el efecto de la variación circadiana de los alcanos dosificados.

La asunción de recuperaciones iguales para alcanos adyacentes, en el caso de la estimación de la ingestión, o del 100% para los alcanos individuales utilizados en el cálculo de la digestibilidad, condujeron en cualquier caso a la obtención de valores estadísticamente diferentes de los obtenidos *in vivo*, por lo que se considera una práctica rechazable.

A la vista de los resultados del presente experimento se puede concluir que los *n*-alcanos pueden ser una buena alternativa a los marcadores externos para la estimación individual de la ingestión y digestibilidad en cerdos alojados en grupo y alimentados con piensos concentrados. Dado que la recuperación fecal de los alcanos naturales no parece estar influida ni por la edad de los animales ni por el plano de alimentación, puede especularse con la validez de la obtención de valores de referencia, al menos para cada tipo de alimento. En el caso de la estimación de la ingestión, parece necesario un estudio detallado de la evolución circadiana de la concentración de los alcanos dosificados en las heces para establecer el protocolo óptimo de muestreo de éstas que conduzca a la obtención de valores fiables y representativos de los hallados *in vivo*.

La baja recuperación fecal de las CIDA y, sobre todo, su alta variabilidad entre animales, sugieren su escasa utilidad como marcador de ingestión o digestibilidad en el ganado porcino.

Resumé

Dans tout système de production, la consommation volontaire de nourriture est l'un des principaux facteurs à considérer lorsqu'on essaye de prédire l'état nutritionnel des animaux ou d'optimiser l'utilisation des ressources alimentaires propres ou achetées. Dans le cas des porcs, la connaissance exacte de l'apport et de ses principes réglementaires permettra la formulation de rations alimentaires, assurant l'ingestion de quantités suffisantes mais pas excessives, en éléments nutritifs optimisant les performances des animaux. La détermination de l'ingestion est donc essentiel pour le développement des programmes nutritionnels.

La difficulté de mesurer l'apport individuel dans les conditions pratiques d'élevage nous a conduit à l'utilisation de deux types de marqueurs, un à usage interne (constituant de l'aliment) et un deuxième marqueur à usage externe, même si aucun d'entre eux s'est avéré être approprié pour l'estimation conjointe de l'apport et de la digestibilité. Les *n*-alcanes ou paraffines, hydrocarbures aliphatiques saturés formant une partie naturelle des cires insaponifiables de la cuticule des plantes, ont été essayés avec un certain succès chez les ruminants comme marqueurs internes, bien que pour les porcs ils étaient à peine utilisés.

Afin de valider la méthode des *n*-alcanes dans l'estimation de l'apport et la digestibilité individuels chez les porcs regroupés dans un même lot, une étude a été menée avec 12 porcs de race "Landrace" croisée avec la race "Large White", tous des mâles castrés, faisant 43,7 kg \pm 0,48 kg de poids corporel et âgés de 13 semaines au début de l'expérience, nourris avec un régime commercial spécifique pour les porcs de même poids. L'essai a été divisée en trois périodes (avec l'objectif de vérifier si l'âge des animaux pourrait avoir une influence sur les résultats obtenus). Pour chaque période, une moitié des animaux ont été nourris avec du *ad libitum* et l'autre moitié à un niveau restreint (60% des *ad libitum* durant les périodes 1 (P1) et 2 (P2), et 80% dans la période 3 (P3), afin de vérifier si le niveau d'alimentation pourrait influencer la récupération fécale des *n*-alcanes).

Dans les trois périodes on a procédé à une balance de digestibilité vive et l'étude de récupération fécale des alcanes naturels (constituants de l'aliment), tandis que dans les périodes 2 et 3 on a administré des alcanes synthétiques (tétracosane (C₂₄) octacosane (C₂₈), dotriacontane (C₃₂) et hexatriacontane (C₃₆)) dans une matrice de fructose dans le but d'étudier leur récupération. Au cours de la période 2 les alcanes synthétiques ont été administrés une fois par jour, le matin (9:30 h), et au cours de la période 3 ils ont été administrés deux fois par jour, matin et soir (9:30 et 18:00 h), offrant la même dose administrée dans la période 2 pour les deux prises. Pendant les périodes 2 et 3, on a collecté des échantillons ponctuels du rectum de chaque animal deux fois par jour: le matin (9:30 h) et l'après-midi (18:00 h), pour analyser sa concentration en alcanes. La récupération fécale des cendres insolubles dans le

détergent acide (CIDA), a également été déterminé pour les trois périodes expérimentales.

Comme prévu, l'ingestion des porcs a augmenté avec l'âge de l'animal et était plus élevé pour les animaux nourris avec du *ad libitum* (valeurs moyennes de 2016 g/jour et 1399 g/jour, respectivement jour pour les animaux nourris avec du *ad libitum* ou d'un niveau restreint). Pour les digestibilités vives, les seules différences statistiquement significatives ($P<0,0001$) ont été enregistré entre les périodes (sauf pour matière sèche), avec des valeurs inférieures à P1 (84,6%, 82,0% et 48,5% pour la matière organique (MO), les protéines brutes (PB) et de fibres au détergent neutre (FDN), respectivement) et aucune différence entre P2 (85,9%, 84,8% et 56,1% pour MO, PB et FDN) et P3 (86,0%, 84,7% et 53,7%, respectivement). Dans le cas de la récupération fécale de la CIDA, la tendance s'est poursuivie, avec des valeurs inférieures à la P1 (47,3%) et aucune différence significative entre les deux autres (60,3% et 61,3% pour les P2 et P3, respectivement).

La récupération fécale des différents n-alcanes naturels n'a été affecté ni par le plan d'alimentation pour chaque période expérimentale ni par l'âge des animaux. Suivant une tendance "augmentation-diminution" de la longueur de la chaîne, avec un maximum de 28 à 29 atomes de carbone. Dans le cas des alcanes dosé, la récupération était beaucoup plus élevée que la normale, étant affectée par le plan d'alimentation et l'âge des animaux. Ces résultats indiquent que ces hydrocarbures peuvent être transportés dans la phase liquide du digestion, dont le rythme de circulation est fortement influencé par le plan d'alimentation.

L'estimation de l'ingestion à partir de la concentration des alcanes dans les excréments quotidiens collectés dans les périodes de pesée, corrigée par sa récupération fécale, a donné des valeurs statistiquement indifférentes de celles observées en direct, quelle que soit la combinaison des alcanes pairs/impairs utilisée. Toutefois, des écarts mineurs ont été obtenus avec des combinaisons faisant intervenir les alcanes dosés C_{24} et C_{28} . Par conséquent, les estimations des ingestions à partir des concentrations fécales d'alcanes dans les échantillons ponctuels ont été limités à des combinaisons avec ces hydrocarbures, tout en considérant les récupérations différentes par les adjacents pairs et impairs de la chaîne. Dans ce cas, les seules différences significatives observées entre les animaux ($P<0,0001$), ont été dus à la triple interaction entre le plan d'alimentation, la période expérimentale et la forme d'estimation de l'ingestion ($P=0,0415$). L'échantillon de fèces ponctuelles a produit des sous-estimations moyennes de l'ingestion, par rapport à la valeur obtenue en direct de 16,8% ($\pm 2,79\%$, $n = 32$) et 20,4% ($\pm 6,30\%$, $n = 32$) avec respectivement les échantillons du matin et de l'après-midi; tandis que les valeurs combinées des deux échantillons ont produit une sous-estimation de 6,1% ($\pm 2,66\%$, $n = 32$). les grandes différences de concentrations

fécales d'alcanes dosés entre les deux échantillons et donc leur variation circadienne, semblent être à l'origine de l'écart.

En ce qui concerne la digestibilité, l'estimation de la concentration des alcanes dans les excréments quotidiens collectés dans les périodes de pesée, corrigée par la récupération fécale, a donné des valeurs statistiquement indifférentes de celles observées en direct, quel que soit l'alcane considéré. Toutefois, des écarts mineurs ont été obtenus avec les alcanes C₂₁ (heneicosane), C₂₉ (nonacosane), C₃₀ (triacontane), et C₃₁ (hentriacontane), qui ont été utilisés pour estimer la digestibilité à partir de sa concentration dans les échantillons ponctuels de matières fécales. Les valeurs ainsi obtenues en plus des récupérations fécale individuelle de chaque porc, surestimée par rapport à celles trouvées en direct avec une différence de -1,0% ($\pm 1,02\%$, n=4) lorsque les échantillons ont été utilisés dans la matinée, et une différence de -1.1% ($\pm 1,40\%$, n=4) pour les échantillons utilisés l'après-midi; tandis que l'utilisation combinée des deux a entraîné une surestimation de 0,5% ($\pm 0,29\%$, n=4). Lors de l'examen des récupérations moyennes des alcanes, les écarts étaient de -3.9% ($\pm 2,83\%$, n=4) avec l'échantillon de la matinée, de -4.5% ($\pm 2,72\%$, n=4) avec ceux de l'après-midi, et de -3,0% ($\pm 1,66\%$, n=4) en comparaison avec la valeur moyenne. Ces valeurs assez proches de celles obtenues en direct, contrairement à ce qui se passe avec les estimations de l'ingestion, sont le résultat de l'usage exclusif des alcanes naturels, empêchant ainsi l'effet des variations circadiennes des alcanes dosés.

L'hypothèse de récupérations égales des alcanes adjacents, dans le cas de l'estimation de l'ingestion ou de 100% pour les alcanes individuelles utilisés dans le calcul de la digestibilité, pour la totalités des cas ont conduit à l'obtention de valeurs statistiquement différentes de celles obtenues en direct, et c'est pour autant qu'elle a été considérée comme une pratique indésirable.

Compte tenu des résultats de cette expérience, nous pouvons conclure que le n-alcanes peuvent être une bonne alternative aux marques extérieures pour l'estimation individuelle de l'ingestion et de la digestibilité chez les porcs regroupés par lots et nourris avec des aliments concentrés. Ceci est du à ce que la récupération fécale des alcanes naturels semble n'être influencée ni par l'âge des animaux, ni par le plan d'alimentation. On peut spéculer quant à la validité de l'obtention de valeurs de référence, au moins pour chaque type d'aliment. Dans le cas de l'estimation de l'ingestion, il semblerait nécessaire une étude détaillée de l'évolution circadienne de la concentration des alcanes dosés issus des excréments afin d'établir le protocole d'échantillonnage optimum qui conduit à l'obtention de valeurs fiables et représentatives de celles trouvées en direct.

Le faible taux de récupération des matières fécales de la CIDA et surtout sa grande variabilité entre les animaux, suggérant leur utilité limitée en tant que marqueur pour l'ingestion ou la digestibilité chez les porcs.

Summary

Animal production systems depend mainly on voluntary feed intake for predicting nutritional status of the livestock or for optimizing the use of own or acquired feedstuffs. The accurate knowledge of feed intake and its regulation among pigs will allow the formulation of rations that will ensure the ingestion of nutrients enough to cover the animal requirements. Determination of feed intake is then basic for the development of nutritionally sound programs.

The measurement of voluntary feed intake in practical conditions is not easy and requires the use of internal (which form part of the aliments) or external which are dosed markers. However, none of these substances has shown to be perfect for joint estimation of intake and digestibility. *n*-alkanes, or paraffins, are saturated aliphatic hydrocarbons naturally present in the cuticular waxes of plants, and have been used with relative success in ruminants as internal markers to estimate feed intake and digestibility. However, their use in pigs has been scarce.

With the aim of validating the use of *n*-alkanes in pigs, an experiment was planned with 12 Landrace x Large White barrows, 15 weeks old and with an average live weight of 44.9 ± 0.78 kg. The trial was divided into three consecutive periods to check the hypothesis of an influence of age and feeding level on *n*-alkane faecal recovery. Within each period, half of the animals were fed *ad libitum* and the rest at a restricted level (60% of *ad libitum* in periods 1 and 2, and 80% in period 3).

A digestibility trial was performed in each experimental period, in which faecal recovery of natural alkanes (those present in the aliments) was also studied. External (synthetic) *n*-alkanes (tetracosane (C₂₄), octacosane (C₂₈), dotriacontane (C₃₂) and hexatriacontane (C₃₆)) were dosed in periods 2 and 3 and their faecal recovery also studied. External alkanes were dosed once daily in Period 2 (09:30 h) and twice daily in Period 3 (9:30 and 18:00 h). Spot faecal samples were also taken, twice daily (9:30 and 18:00 h) and directly from the rectum of the animals in periods 2 and 3. Faecal recovery of acid-detergent insoluble ashes (ADIA) was also determined in the three experimental periods.

As expected, feed intake increased with the age of the animals, and was higher for those fed *ad libitum* (average values of 2,016 g/day and 1,399 g/day for *ad libitum* and restricted, respectively). With respect to *in vivo* digestibility, there were differences ($P<0.0001$) between periods (except for dry matter –DM- digestibility), with lower values for Period 1 (P1; 84.6%, 82.0% and 48.5% for organic matter (OM), crude protein (CP) and neutral detergent fibre (NDF), respectively. No differences were found between periods 2 (P2; 85.9%, 84.8% and 56.2% for OM, CP and NDF) and 3 (P3; 86.0%, 84.6% and 53.7%, respectively). The same trend was observed for ADIA faecal

recovery, with lower values for P1 (47.3%) and no differences between P2 (60.3%) and P3 (61.3%).

Faecal recovery of the different natural *n*-alkanes was not affected by the feeding level within each experimental period or the animals' age, and followed an increasing-decreasing curvilinear evolution. Maximum recovery appeared for alkanes with 28-29 carbon atoms. Recovery of external alkanes was much higher than that of natural hydrocarbons, and was affected by the feeding level and the experimental period. These results indicate that external alkanes might be transported with the liquid phase of the digesta, which rate of passage is highly influenced by the feeding level.

Feed intake estimates from recovery-corrected alkane concentration in the whole faeces produced during the digestibility balance period were not different than *in vivo* values, regardless the odd/even chain pair of alkanes chosen. However, the lower deviations were found for combinations involving C₂₄ and C₂₈ dosed alkanes. Hence estimates of feed intake from recovery-corrected alkane concentration in spot faeces were restricted to combinations with those hydrocarbons. In this latter case, statistical differences were found between animals ($P<0.0001$). The interaction between feeding level, experimental period and form of estimation of feed intake (sampling time and pair of alkanes used) was also significant ($P=0.0415$). Feed intake estimates from spot samples underestimated *in vivo* values by 16.8% ($\pm 2.79\%$; n=32) and 20.4% ($\pm 6.30\%$; n=32) when using morning or evening samples, respectively. Using the average concentrations of the two samples underestimated *in vivo* values by 6.1% ($\pm 2.66\%$; n=32). Important differences in alkane concentrations between morning and evening samples (and then circadian variations) are sought as a possible reason for these discrepancies.

Estimates of digestibility from recovery-corrected alkane concentration in the whole faeces produced during the digestibility balance period were not different than *in vivo* values, regardless the alkane chosen. However, the lower deviations were found when using alkanes C₂₁ (heneicosane), C₂₉ (nonacosane), C₃₀ (triacontane) and C₃₁ (hentriacontane), hence only these paraffins were used to estimate digestibility from recovery-corrected alkane concentration in spot faeces. Values obtained this way, and using individual recoveries for each pig, overestimated *in vivo* DM digestibility by only 1.0% ($\pm 1.02\%$; n=4) with morning samples or 1.1% ($\pm 1.40\%$; n=4) with evening samples. The combined use of both samples produced an underestimation of 0.5% ($\pm 0.29\%$; n=4). When average recoveries for all pigs under the same treatment were used, morning sampling overestimated *in vivo* DM digestibility by 3.9% ($\pm 2.83\%$; n=4) and evening sampling by 4.5% ($\pm 2.72\%$; n=4). Average value of the two samples overestimated by 3.0% ($\pm 1.66\%$; n=4). Such small differences between *in vivo* and alkane-estimated values are a consequence of the unique use of natural alkanes for

digestibility estimates, avoiding the effect of the circadian variation in the faecal concentration of external alkanes.

Assuming similar recoveries for adjacent odd/even chain alkanes when estimating digestibility, or 100% recovery of individual alkanes for digestibility estimates, is not an advisable practice as the results obtained were always statistically different from those calculated from the *in vivo* trials.

From the results of the present experiment it can be concluded that the use of *n*-alkanes can be an alternative to estimate individual intake and digestibility in grouped pigs fed concentrate diets. As faecal recovery of natural alkanes was not influenced by animals' age or feeding level, reference values could be easily obtained, at least for each feed type. Before the use of *n*-alkanes for feed intake estimate can be recommended, circadian variation of faecal concentration must be studied, mainly that of external hydrocarbons.

The low and highly variable ADIA faecal recovery found in the present experiment precludes their utility as intake or digestibility internal markers in pigs.

Índice

1. Introducción	1
2. Revisión Bibliográfica.....	3
2.1. <i>Importancia del sector porcino en el mundo y en México.....</i>	3
2.2. <i>Factores que afectan a la rentabilidad de las explotaciones porcinas.....</i>	6
2.2.1. <i>Genética</i>	6
2.2.2. <i>Reproducción.....</i>	7
2.2.3. <i>Sanidad.....</i>	9
2.2.4. <i>Instalaciones.....</i>	11
2.2.5. <i>Alimentación</i>	13
2.3. <i>Aspectos nutricionales y alimentarios que influyen en la productividad de los cerdos</i>	15
2.3.1. <i>Energía.....</i>	15
2.3.2. <i>Proteína y Aminoácidos.....</i>	16
2.3.3. <i>Relación energía:proteína</i>	18
2.3.4. <i>Ingestión voluntaria</i>	19
2.3.4.1. <i>Factores que afectan a la ingestión voluntaria</i>	19
2.3.4.1.1. <i>Capacidad de ingestión</i>	20
2.3.4.1.2. <i>Condiciones ambientales.....</i>	22
2.3.4.1.3. <i>Tipo de alimentación</i>	23
2.3.4.2. <i>Métodos de determinación de la ingestión voluntaria en porcino.....</i>	24
2.3.4.2.1. <i>Mediciones agronómicas</i>	25
2.3.4.2.2. <i>Mediciones sobre los animales.....</i>	25
2.3.4.2.3. <i>Métodos zootécnicos.....</i>	25
2.3.4.2.4. <i>Estimación a partir de la digestibilidad y de la producción fecal</i>	26
2.3.4.2.4.1. <i>Estimación de la digestibilidad</i>	26
2.3.4.2.4.2. <i>Estimación de la producción fecal.....</i>	27
2.3.4.2.5. <i>El método de los n-alcanos.....</i>	27
2.4. <i>Recapitulación y conclusiones de la revisión bibliográfica</i>	29
3. Material y métodos	31
3.1. <i>Animales y dietas experimentales</i>	31
3.2. <i>Instalaciones experimentales</i>	33
3.3. <i>Manejo experimental</i>	33
3.4. <i>Ánálisis laboratorial</i>	35

3.5. <i>Procedimientos de cálculo</i>	36
3.5.1. <i>Obtención de las concentraciones de n-alcanos de las muestras</i>	36
3.5.2. <i>Cálculo de la recuperación fecal individual de los n-alcanos naturales</i>	39
3.5.3. <i>Cálculo de la recuperación fecal de los n-alcanos dosificados</i>	40
3.5.4. <i>Cálculo de la ingestión utilizando pares de alcanos naturales y dosificados en heces totales</i>	42
3.5.5. <i>Cálculo de la ingestión utilizando la concentración de pares de alcanos naturales y dosificados en heces puntuales</i>	44
3.5.6. <i>Cálculo de la digestibilidad utilizando la concentración de alcanos naturales en heces totales</i>	44
3.5.7. <i>Cálculo de la digestibilidad utilizando la concentración de alcanos naturales en heces puntuales</i>	46
3.6. <i>Análisis Estadístico</i>	46
4. Resultados.....	49
4.1. <i>Composición química de los piensos experimentales</i>	49
4.2. <i>Estimación de la ingestión y digestibilidad in vivo</i>	50
4.3. <i>Recuperación fecal de los n-alcanos naturales</i>	51
4.4. <i>Recuperación fecal de los n-alcanos dosificados</i>	54
4.5. <i>Estimación de la ingestión de materia seca mediante el método de los n-alcanos</i>	55
5. Discusión	63
5.1. <i>Composición analítica de los piensos</i>	63
5.2. <i>Ingestión y digestibilidad in vivo</i>	63
5.3. <i>Recuperación fecal de los n-alcanos</i>	64
5.4. <i>Estimación de la ingestión con el método de los n-alcanos</i>	65
5.5. <i>Estimación de la digestibilidad utilizando los n-alcanos como marcadores internos</i> .	67
6. Conclusiones	70
7. Bibliografía.....	72

Índice de Tablas

	Título	Página
Tabla 2.1.	Principales países importadores, exportadores y consumidores de carne de cerdo	5
Tabla 3.1.	Ingredientes y composición estimada de la dieta experimental	32
Tabla 4.1.	Composición química de los piensos utilizados en el presente experimento	49
Tabla 4.2.	Ingestión de materia seca, digestibilidad de la materia seca, materia orgánica, proteína bruta y fibra neutro detergente, y recuperación fecal de las cenizas insolubles en detergente ácido obtenidas <i>in vivo</i> en cerdos en tres periodos de crecimiento y sometidos a dos planos de alimentación (<i>ad libitum</i> y restringido).	50
Tabla 4.3.	Recuperación fecal estimada de los alcanos tetracosano (C_{24}), octacosano (C_{28}), dotriacantano (C_{32}) y hexatriacantano (C_{36}) administrados a cerdos de $61,7 \pm 0,87$ kg y 17 semanas de edad, y de $77,1 \pm 1,39$ kg y 20 semanas de edad, alimentados <i>ad libitum</i> o a un plano de alimentación restringido.	55
Tabla 4.4.	Estimaciones de ingestión de materia seca realizadas utilizando diferentes parejas de alcanos naturales y dosificados presentes en las heces totales diarias de cerdos de $61,7 \pm 0,87$ kg y 17 semanas de edad y $77,1 \pm 1,39$ kg y 20 semanas de edad sometidos a dos planos de alimentación (<i>ad libitum</i> y restringido).	57
Tabla 4.5.	Estimaciones de ingestión de materia seca realizadas utilizando diferentes parejas de alcanos naturales y dosificados presentes en muestras puntuales de heces de cerdos de $61,7 \pm 0,87$ kg y 17 semanas de edad y $77,1 \pm 1,39$ kg y 20 semanas de edad sometidos a dos planos de alimentación (<i>ad libitum</i> y restringido).	58
Tabla 4.6.	Estimaciones de digestibilidad de la materia seca realizadas utilizando diferentes alcanos naturales presentes en las heces totales diarias de cerdos de $61,7 \pm 0,87$ kg y 17 semanas de edad y de $77,1 \pm 1,39$ kg y 20 semanas de edad sometidos a dos planos de alimentación (<i>ad libitum</i> y restringido).	60
Tabla 4.7.	Estimaciones de digestibilidad de materia seca realizadas utilizando diferentes alcanos naturales presentes en muestras puntuales de heces de cerdos de $61,7 \pm 0,87$ kg y 17 semanas de edad y de $77,1 \pm 1,39$ kg y 20 semanas de edad sometidos a dos planos de alimentación (<i>ad libitum</i> y restringido).	61
Tabla 5.1.	Efecto de la hora de muestreo sobre la concentración de alcanos procedentes del pienso en heces de cerdos tomadas puntualmente del recto.	66
Tabla 5.2.	Efecto de la hora de muestreo sobre la concentración de alcanos dosificados en heces de cerdos tomadas puntualmente del recto.	68

Índice de Figuras

	Titulo	Página
Figura 2.1.	Distribución de la producción mundial de carne por especies en 2011	3
Figura 2.2.	Distribución de la producción mundial de carne de cerdo por países	4
Figura 2.3.	Distribución de la producción de carne en México por especies	5
Figura 2.4.	Evolución de la producción anual de carne de cerdo en México	5
Figura 2.5.	Principales causas de mortalidad en cerdos de engorde en EEUU	10
Figura 2.6.	Distribución de los costes de producción en porcino en España	13
Figura 3.1.	Evolución de la recuperación fecal de los <i>n</i> -alcanos naturales en función de su longitud de cadena	41
Figura 4.1.	Recuperación fecal de los <i>n</i> -alcanos naturales en cerdos de $44,9 \pm 0,78$ kg y 15 semanas de edad, $61,7 \pm 0,87$ kg y 17 semanas de edad, y $77,1 \pm 1,39$ kg y 20 semanas de edad, alimentados <i>ad libitum</i> o a un plano de alimentación restringido.	52
Figura 4.2.	Evolución de la ingestión de materia seca durante períodos de siete días en cerdos de $44,9 \pm 0,78$ kg y 15 semanas de edad, $61,7 \pm 0,87$ kg y 17 semanas de edad, y $77,1 \pm 1,39$ kg y 20 semanas de edad, alimentados <i>ad libitum</i> o a un plano de alimentación restringido.	53
Figura 4.3.	Recuperación fecal estimada de los alcano tetracosano (C_{24}), octacosano (C_{28}), dotriacantano (C_{32}) y hexatriacantano (C_{36}) administrados a cerdos de $61,7 \pm 0,87$ kg y 17 semanas de edad, y $77,1 \pm 1,39$ kg y 20 semanas de edad, alimentados <i>ad libitum</i> o a un plano de alimentación restringido.	54

Índice de Fotos

	Titulo	Página
Foto 3.1.	Cerdos alojados en corrales en la nave experimental	32
Foto 3.2.	Corrales y Suelo	33
Foto 3.3.	A) Jaula metabólica, B) Cinto, cadena, chupete y suelo, C) Comedero	33
Foto 3.4.	Elaboración de los caramelos con alcanos	34
Foto 3.5.	Toma de muestras de heces de recto	35

Abreviaturas:

AIA: acid insoluble ash (Ceniza insoluble en ácido)

C₂₁: n- Heneicosano

C₂₂: n- Docosano

C₂₃: n- Tricosano

C₂₄: n- Tetracosano

C₂₅: n- Pentacosano

C₂₆: n- Hexacosano

C₂₇: n- Heptacosano

C₂₈: n- Octacosano

C₂₉: n- Nonacosano

C₃₀: n- Triacontano

C₃₁: n- Hentriacontano

C₃₂: n- Dotriacontano

C₃₃: n- Titriacontano

C₃₄: n- Tetratriacontano

C₃₅: n- Hexatriacontano

C₃₆: n- Heptatriacontano

CIDA: Cenizas insolubles en detergente ácido

DFND: Digestibilidad de la fibra neutro detergente

DMO: Digestibilidad de la materia orgánica

DMS: Digestibilidad de la materia seca

DPB: Digestibilidad de la proteína bruta

EE: Extracto etéreo

EM: Energía metabolizable

FAD: Fibra ácido detergente

FB: Fibra bruta

FND: Fibra neutro detergente

IMS: Ingestión de materia seca

LAD: Lignina ácido detergente

MO: Materia orgánica

MS: Materia seca

PB: Proteína bruta

PV: Peso vivo

1. Introducción

Los grandes esfuerzos llevados a cabo por la mejora genética, en las últimas décadas, por aumentar el tamaño de camada en ganado porcino, han dado lugar a un aumento en la variabilidad del peso al nacimiento de los lechones que se mantiene a lo largo de la lactación, y también posteriormente. A ésto hay que añadir la variabilidad individual en la ingestión voluntaria de pienso durante la lactación (Bruininx et al., 2002) que, probablemente, incluso se ve incrementada en las fases de engorde y finalización. Esta gran heterogeneidad repercute negativamente en los rendimientos productivos y también en la uniformidad de las canales al sacrificio (O'Connell et al., 2005).

Un conocimiento preciso de la ingestión y de sus principios reguladores permitiría la formulación de raciones que aseguraran la ingestión de cantidades suficientes, pero no excesivas, de nutrientes para poder optimizar el rendimiento de los animales (Torraldona y Roura, 2009). Sin embargo, el estudio de la variabilidad de la ingestión entre animales dentro de un mismo corral se ve limitado por la dificultad en determinar el consumo individual de pienso en condiciones prácticas de alojamiento. Kim et al. (2010) lo intentaron con lechones recién destetados mediante la dosificación de un marcador externo (óxido de lantano) para determinar la producción fecal, en combinación con otro incorporado en el pienso (óxido de itrio) para la determinación de la digestibilidad. Sin embargo, la necesidad de homogeneizar este segundo con el pienso supone un serio inconveniente en la práctica, que podría solventarse si un compuesto natural de la fórmula pudiera ser utilizado como marcador interno de digestibilidad.

En rumiantes, numerosos autores han estudiado varios componentes de los alimentos como marcadores internos, tales como la materia seca (MS) indigestible (Mertens y Ely, 1982), la fibra neutro detergente (FND) (Osbourne et al., 1974) y la fibra ácido detergente (FAD) (Penning y Johnson, 1983) indigestibles, la lignina ácido detergente (LAD) (Dixon y Milligan, 1985), las cenizas insolubles en detergente ácido (CIDA) (Oliveira et al., 1991), las cenizas insolubles en ácido clorhídrico (AIA) (Van Keulen y Young, 1977) y los alcanos (Mayes y Dove, 2000).

Los alcanos de cadena impar (C_{25} a C_{33}) son componentes naturales de la cera cuticular de las plantas que en rumiantes se han utilizado con relativo éxito como marcadores internos para determinar la ingestión voluntaria del pasto (Mayes et al., 1995). También se ha comprobado su utilidad en caballos (Ordakowski et al., 2001; Peiretti et al., 2006), así como en porcino para determinar el consumo de bellota y pasto (Mendes et al., 2007; Ribeiro et al., 2007). Su empleo conlleva la ventaja de permitir determinar la ingestión sin necesidad de la estimación simultánea de la digestibilidad. Sin embargo, su utilización en porcino ha sido muy escasa y focalizada en el consumo de alimentos fibrosos específicos.

El método de los *n*-alcanos ha sido ampliamente estudiado en rumiantes y, aún con un número todavía importante de interrogantes, ha ayudado a reducir el error en el cálculo de la ingestión en pastoreo. En cerdos en condiciones extensivas ha sido probado con razonable éxito, aunque para cerdos en estabulación parece no haber sido siquiera ensayado.

En este contexto, y partiendo de la premisa de que la restricción alimentaria podría afectar a la recuperación fecal de los *n*-alcanos (Lewis et al., 2003), se pretende estudiar la validez de estos hidrocarburos como método de estimación de la ingestión individual, así como de la digestibilidad del pienso, en cerdos en crecimiento sometidos a dos planos de alimentación (*ad libitum* vs restringido).

2. Revisión Bibliográfica

2.1. Importancia del sector porcino en el mundo y en México

En el año 2011, el censo porcino mundial superó los $957 \cdot 10^6$ de cabezas, ocupando China el primer lugar con el 48%, seguida de la UE-27 con el 15% y de EEUU con el 7% (FAOSTAT, 2013). Como consecuencia, la carne de cerdo es la más producida en el mundo ($110,3 \cdot 10^6$ Tm), por delante de la de pollo ($89,9 \cdot 10^6$ Tm) y de la de vacuno ($62,8 \cdot 10^6$ Tm) (Figura 1).

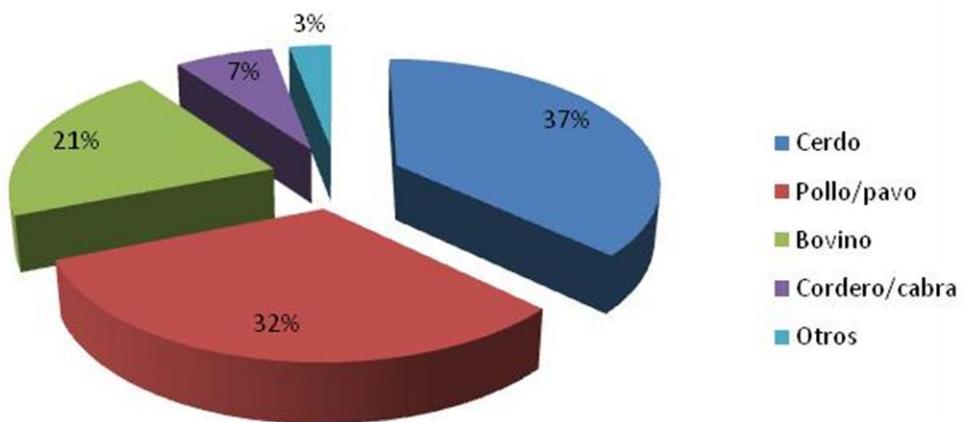


Figura 2.1. Distribución de la producción mundial de carne por especies en 2011 (FAOSTAT, 2013)

China encabeza la lista de producción de carne porcina con el 49% del total ($52,3 \cdot 10^6$ Tm), seguida de la UE-27 con el 22% ($22,6 \cdot 10^6$ Tm), EEUU con el 10% ($10,5 \cdot 10^6$ Tm) y Brasil con el 3% ($3,3 \cdot 10^6$ Tm) (Figura 2.2). Dentro de la UE-27, Alemania y España son los líderes con $26,7$ y $25,6 \cdot 10^6$ de cabezas y $5,6$ y $3,3 \cdot 10^6$ Tm de carne anuales, respectivamente.

México tiene un censo porcino considerable que asciende a $15,5 \cdot 10^6$ de cabezas (FAOSTAT, 2013) y se concentra fundamentalmente en tres estados: Jalisco (20%), Sonora (19%) y Puebla (10%). Es un país que destaca entre los más productores de carne de cerdo tanto en el continente americano como a nivel mundial.

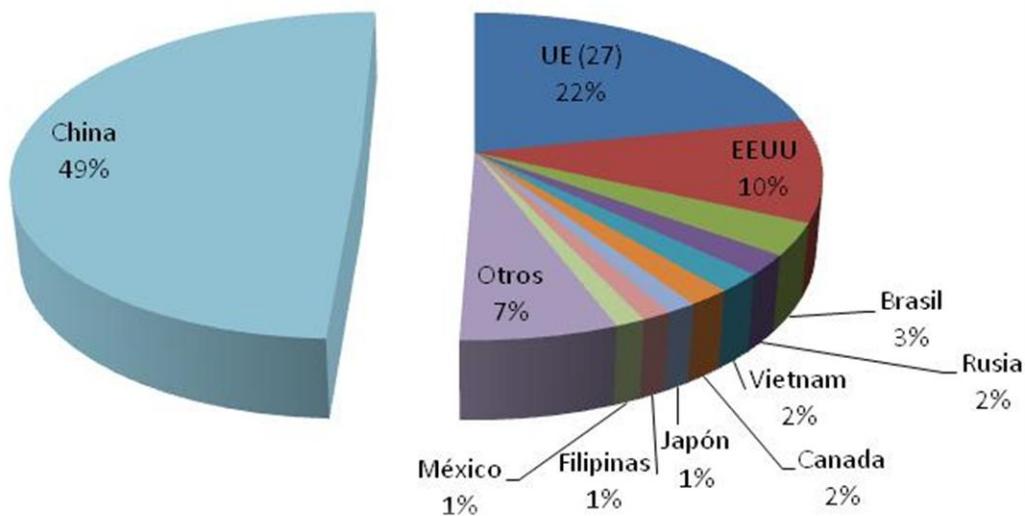


Figura 2.2. Distribución de la producción mundial de carne de cerdo por países (USDA, 2013)

La historia del cerdo en México se remonta a la llegada de los españoles en el año 1521. Las primeras y más completas reglamentaciones conservadas sobre explotaciones porcinas corresponden a Nueva España (Méjico) y fueron redactadas por iniciativa de Hernán Cortés, quien ya en sus ordenanzas de 1525 dictaba algunas medidas a imitación de las prácticas antillanas (del Río Moreno, 1996).

Desde aquella época hasta la actualidad, la carne de cerdo se ha convertido en una de las más producidas y consumidas en el país. En el año 2012, se produjeron en México $5,9 \cdot 10^6$ Tm de carne, de las que el 21% ($1,23 \cdot 10^6$ Tm) corresponden a cerdo (Figura 2.3) (SAGARPA, 2013). En los últimos seis años, la producción de carne porcina en este país ha aumentado un 12% (Figura 2.4), lo que ha permitido que pueda actualmente exportar casi un millón de Tm al año a tres destinos principalmente: Japón, EEUU y Corea (USDA, 2013) (Tabla 2.1).

Del mismo modo, el consumo de carne de cerdo también ha ido en aumento en México, rondando los 15 kg por persona y año, siendo notablemente inferior al de España que asciende a casi 49 kg *per capita*. El pollo y el vacuno han sido y siguen siendo las carnes más consumidas en México (FAOSTAT, 2013).

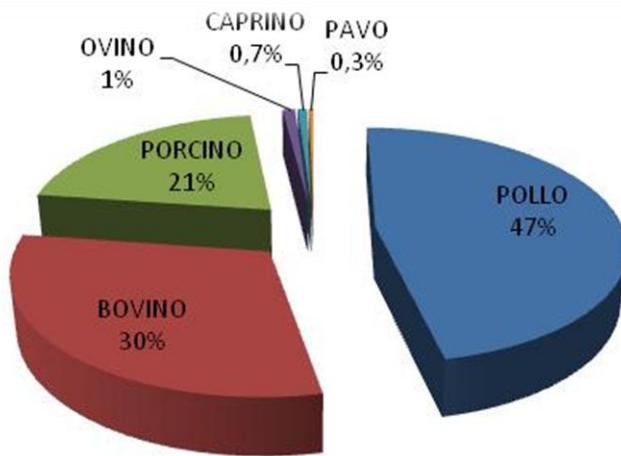


Figura 2.3. Distribución de la producción de carne en México por especies (SAGARPA, 2013)

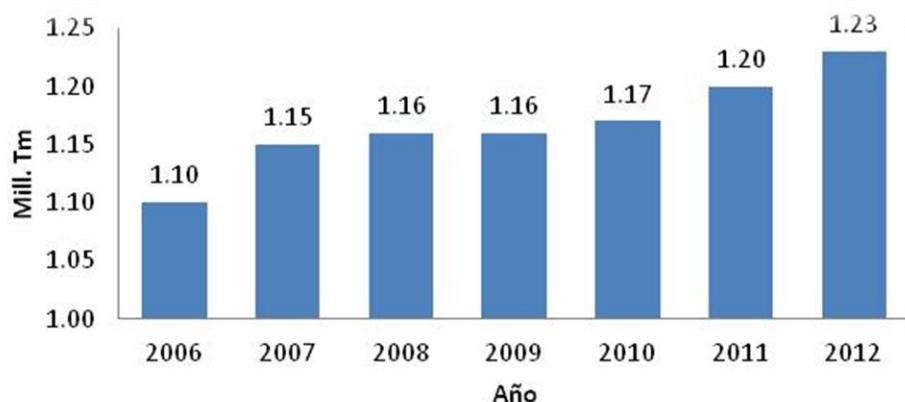


Figura 2.4. Evolución de la producción anual de carne de cerdo en México (SAGARPA, 2013)

Tabla 2.1. Principales países importadores, exportadores y consumidores de carne de cerdo (USDA, 2013)

Importadores	Millones Tm	Exportadores	Millones Tm	Consumidores	Millones Tm
1º Japón	1,2	1º EEUU	2,4	1º China	52,7
2º Rusia	1,07	2º UE-27	2,2	2º UE-27	20,4
3º México	0,70	3º Canadá	1,2	3º EEUU	8,4
4º China	0,70	4º Brasil	0,66	4º Rusia	3,1
5º Corea del Sur	0,50	5º China	0,23	5º Brasil	2,6
6º Hong Kong	0,41	6º Chile	0,18	6º Japón	2,5
7º EEUU	0,36	7º Bielorrusia	0,10	7º Vietnam	1,9
8º Canadá	0,24	8º México	0,95	8º México	1,8

2.2. Factores que afectan a la rentabilidad de las explotaciones porcinas

Para los productores de cerdo, el objetivo para optimizar la rentabilidad de las granjas es conseguir una elevada velocidad de crecimiento y un buen índice de conversión, mientras que para los procesadores de carne, las características de más importancia son el peso de la canal, el rendimiento magro, la proporción de cortes de alta y media calidad así como el rendimiento tecnológico (Barbut et al., 2008). Los factores que más influyen en la ganancia de peso y en la eficiencia alimentaria se detallan a continuación.

2.2.1. Genética

Durante décadas, los mayores esfuerzos en genética porcina se centraron en conseguir una elevada eficiencia productiva, ciclos intensos (tanto reproductivos como de engorde) y en aspectos sanitarios. Sin embargo, la calidad de la canal y la carne también han ido ocupando cada vez un lugar más importante, aunque sus objetivos van cambiando de acuerdo a la demanda del mercado. Durante años se han exigido canales y carnes muy magras pero, más recientemente, hay una inclinación por un contenido razonable de grasa que mejore la calidad sensorial del producto final.

(Whittemore, 1996) clasifica las razas porcinas según sus aptitudes en:

- Razas reproductoras o maternas: con muy buenos parámetros reproductivos (precocidad sexual, prolificidad, número de lechones nacidos vivos, etc.). Es el caso de la Large White y las razas chinas (Meishan).
- Razas productoras de carne o paternas: seleccionadas por sus excelentes parámetros productivos (velocidad de crecimiento, índice de conversión) pero también de calidad (rendimiento en canal, carnes muy magras). Son muy conocidas la Pietrain y la Blanco Belga.
- Razas Mixtas: razas con una combinación de caracteres maternales y de producción de carne. Landrace y Duroc son algunos ejemplos.
- Razas rústicas: aquellas con buena adaptación al medio, muy utilizadas en sistemas al aire libre. Suelen tratarse de razas autóctonas, como el Cerdo Ibérico, Cinta Senese, etc.

En un trabajo reciente, Agostini et al. (2013) concluyeron que el 86,7% de un número significativo de explotaciones en España producen cerdo industrial (95-100 kg al sacrificio) y el 13,3% cerdos pesados (>110 kg). La raza más utilizada como macho finalizador es la Pietrain (70%) para producir cerdo comercial, y la Duroc (7,8%) para cerdo más graso.

La raza Large White es la más difundida a nivel mundial. Tiene tasas de crecimiento superiores a 750 g/d, alcanza la pubertad hacia los 180 d y da tamaños de camada de

11-13 lechones. El cruce con la raza Landrace es habitual y normalmente da origen a la línea materna. La Landrace es bastante magra y su prolificidad es menor que la de la Large White. Los avances de la mejora genética en temas reproductivos en las últimas décadas han sido enormes. No obstante, también han traído consecuencias negativas en el bienestar y en la tasa de mortalidad de los lechones (Rutherford et al., 2013), aspectos que habrá que tratar de corregir.

La raza Pietrain es muy musculosa, siendo ésta la principal característica por la que se usa como macho finalizador en la producción de cerdo ligero. Sin embargo, también se trata de una raza muy nerviosa que padece estrés fácilmente. Con frecuencia son animales portadores del gen Halotano, que está estrechamente vinculado con el desarrollo de carnes PSE (pálidas, blandas y exudativas) (Briskey, 1964).

La industria de los embutidos y productos curados, como el jamón, requiere canales con un mínimo de grasa de cobertura para un mejor rendimiento tecnológico, y también de grasa intramuscular, puesto que se ha asociado con mayor terneza y jugosidad (Ruiz et al., 2002). Aunque la mejora genética trabaje en esta línea, hay que tener en cuenta que ambas variables (grasa de cobertura e intramuscular) tienen una correlación lineal positiva pero moderada ($r=0,45$) (Huff-Lonergan et al., 2002). La raza Duroc es ideal para estos propósitos, ya que confiere a su progenie un aumento en la deposición de grasa a nivel de cobertura y también veteado (Latorre et al., 2003a). No obstante, hay que tener en cuenta que las diferencias entre razas son, a menudo, menores que las diferencias entre líneas genéticas de una misma raza (Krieter y Tholen, 2001). Por ello, es sumamente importante testar las nuevas líneas que van surgiendo en el mercado.

Las razas porcinas más empleadas en México son básicamente las mismas que las utilizadas en España (Landrace, Large White, Pietrain y Duroc), a las que hay que añadir la Hampshire, por influencia de los EEUU, y una autóctona: el Pelón Mexicano. Esta raza fue introducida por los españoles en la conquista (año 1521). Su censo ha disminuido dramáticamente hasta situarlo casi en peligro de extinción. Es un cerdo rústico por su tolerancia al clima tropical y su aptitud para caminar y consumir una amplia variedad de alimentos, muchos de los cuales son tradicionales y de bajo coste. Presenta altos niveles de engrasamiento, por lo que su carne es poco cotizada (hasta un 30-40% menos) comparada con las razas mejoradas.

2.2.2. Reproducción

Son numerosas las variables relacionadas con la reproducción que influyen en la productividad final y en la rentabilidad de una explotación porcina. En este sentido, juegan un papel importante tanto el macho como la hembra. Sin embargo,

habitualmente se presta más atención a las hembras porque cada vez son más frecuentes las granjas que no disponen de verracos y compran las dosis seminales.

Los caracteres reproductivos más relevantes en las hembras son: la tasa de ovulación, la precocidad sexual, el ritmo reproductivo, la prolificidad, la longevidad, la capacidad lechera, el tamaño y peso de la camada y el número de lechones nacidos y destetados por hembra y año.

La tasa de ovulación y la supervivencia embrionaria dependen en buena medida de la alimentación previa, ya que se ha demostrado que la restricción alimentaria o proteica durante la lactación afectan negativamente al posterior desarrollo folicular (Quesnel et al., 1998; Clowes et al., 2003), incrementan el intervalo destete-estro y reducen el índice de ovulación (Zak et al., 1997; Revell et al., 1998; Vinsky et al., 2006).

La edad de cubrición es un factor importante. Una cubrición temprana (180-200 d) puede reducir la prolificidad en los primeros partos (Koketsu et al., 1999), mientras que una cubrición en el momento oportuno mejora los parámetros productivos generales de la cerda, ya que le permite alcanzar la madurez sexual y una mayor adaptación sanitaria. Según Babot et al. (2003), la edad óptima de cubrición está entre 210 y 240 d.

De especial importancia son también el primer parto y la primera lactación; la hembra es especialmente sensible al agotamiento de las reservas corporales, y su capacidad de ingestión no es suficiente para cubrir las necesidades energéticas durante la lactación. La falta de reservas y la necesidad de crecimiento hacen a las cerdas jóvenes más sensibles a los efectos del balance energético negativo en la reproducción (Everts, 1994; Prunier et al., 2003). Una alimentación adecuada durante la lactación podría ser una estrategia para maximizar el consumo de alimento (Yang et al., 1989). Pérdidas de peso, intervalo prologando destete-estro y un descenso en el tamaño de la camada suelen ocurrir debido a un bajo consumo de alimento, de energía o de proteína.

La tasa de fertilidad aumenta con el incremento de peso ganado entre la primera inseminación y el primer parto (Hoving et al., 2010). Si no se consigue el crecimiento deseado durante la primera gestación, la cerda puede priorizar el crecimiento sobre la reproducción después del parto, pudiendo no quedar preñada o viéndose reducido el tamaño de camada en el segundo parto comparado con el primero (Morrow et al., 1989). A este fenómeno se le llama síndrome de la segunda camada, y no sólo tiene estas consecuencias sino que también disminuye la longevidad de la cerda. Ésta es la mayor causa reproductiva del desecho de cerdas jóvenes (Zak et al., 1997; Lucia et al., 2000).

El tamaño y peso de la camada y la mortalidad perinatal se consideran las características reproductivas más importantes en porcino. Normalmente, el tamaño de la camada aumenta con el número de parto, alcanzando los niveles más altos entre el

3º y el 5º (Koketsu et al., 1999). El trabajo reciente de Rodríguez-Estévez et al. (2012), en el que se presentaban resultados de 23 granjas españolas, muestra que el peso medio al nacimiento es de 1,49 kg/lechón. Estos autores también observaron que al aumentar los lechones nacidos totales por parto se reducía la proporción de los nacidos con más de 1,5 kg e incrementaba la de los nacidos con menos de 1 kg. Asimismo, a menor peso al nacimiento mayor posibilidad de muerte en la lactación. En la mayoría de las explotaciones desarrolladas se destetan entre 24 y 28 lechones anuales por hembra reproductora. Teniendo en cuenta que los gastos de mano de obra y alimentación de las cerdas son prácticamente los mismos, independientemente de su productividad numérica, es lógico que se pretenda optimizar este dato. De hecho, la media en España está en 26 lechones por cerda y año, y hace tres décadas estaba en 18 (Observatori del porcí, 2011).

La vida productiva de las cerdas, que es una medida de la longevidad y de sus rendimientos reproductivos, está directamente relacionada con el número de lechones viables producidos durante su vida útil. Aproximadamente un 15-20% de las cerdas son eliminadas tras producir sólo una camada, y más del 50% después de su quinto parto (Lucia et al., 2002; Engblom et al., 2007; 2008). Es de destacar el creciente interés por la selección y la mejora de caracteres que prolonguen la vida reproductiva de las cerdas.

En México, la duración de la lactación varía según la tecnificación de la granja; las más desarrolladas destetan con <21 d de edad, las semi-tecnificadas con 21-28 d y las caseras (denominadas “de traspatio”) con >28 d de edad, representando el 60, 10 y 30% del total de las explotaciones, respectivamente. Las lactaciones muy cortas (<14 d) se utilizaron durante mucho tiempo para reducir la posibilidad de contagio de enfermedades infecciosas; sin embargo, esta práctica reducía la productividad de las cerdas, ya que impide una correcta involución del útero después del parto, además de tener una correlación negativa con el intervalo destete-estro y destete-concepción, que a su vez afectan al tamaño de camada. Una lactación más larga (21-28 días) prolonga el ciclo productivo pero aumenta el tamaño de camada ya que permite una mejor involución uterina y reduce el intervalo destete-cubrición fértil.

2.2.3. Sanidad

El estado sanitario de una explotación porcina es un factor determinante para su rendimiento económico. Las enfermedades en cerdos son una causa importante de pérdidas para los productores por los gastos en medicamentos, en veterinarios, el empeoramiento de la conversión alimenticia y el aumento de la mortalidad, entre otras consecuencias (Miller et al., 1995).

Con frecuencia, el brote inicial de una enfermedad es el responsable de la mayor parte de las pérdidas. Tras la primera infección se suele desarrollar inmunidad natural en la población adulta, y el patógeno suele convertirse en endémico de la explotación sin que resulte un problema. Los verdaderos problemas ocurren cuando el nivel de inmunidad no es igual en la población, lo que ocasiona que la enfermedad se reavive o persista. Es común, principalmente en animales jóvenes. Para eliminar la reaparición de enfermedades, que traen consigo pérdidas económicas continuadas, suele ser eficaz prevenir la enfermedad impidiendo su entrada con medidas rigurosas de bioseguridad (cuarentenas, control de entradas, desinfección de vehículos, duchas y vestuarios del personal, telas pajereras y mosquiteras, etc.). Resulta difícil calcular el coste de un brote o de su erradicación, debido a que existe una variabilidad grande en la gravedad de las enfermedades, así como la existencia de diferencias entre la susceptibilidad a las enfermedades de cada animal, y además una interacción entre el medio ambiente y la presencia o ausencia de algunos patógenos. De esta manera, las medidas tomadas para reducir el impacto económico de las enfermedades tendrán que contemplar la utilización de vacunas, una buena nutrición, un buen manejo y el cuidado de mantener las instalaciones en condiciones óptimas para los cerdos.

Clermont y Desilets (1982) proponen la siguiente clasificación de las granjas según la mortalidad durante el crecimiento-finalización: <2,5% excelente, 2,5-3,9% satisfactorio, 4-7,9% mediocre y $\geq 8\%$ inaceptable.

La diarrea colibacilar y las neumonías son los síndromes más comunes relacionados con el manejo diario de una explotación porcina. La colibacilosis, las cojeras, la parvovirosis y la micotoxicosis se presentan de forma relativamente frecuente. Según la USDA (2006), en las granjas de cebo de EEUU, la mayor causa de mortalidad son las enfermedades respiratorias con un 60,1% (Figura 2.5).

Controlar el coste de producción es una preocupación considerable en granja, y la mejora de la calidad de la salud de los cerdos juega un rol importante en este contexto. De ahí que el control de enfermedades se haya convertido en un tema importante en el campo de la investigación (Dijkhuizen, 1992).

En México, las enfermedades porcinas más relevantes son la fiebre porcina clásica y la enfermedad de Aujeszky, a cuya prevención se asignaron en el año 2011 más de 24 y 15 millones de dólares, respectivamente. En 2007 se detectaron 900 focos de Aujeszky por todo el país, pero quizás la enfermedad más extendida sea el PRSS (síndrome respiratorio y reproductivo porcino), del que se desconoce con exactitud su prevalencia y distribución, y puede variar mucho en patogenicidad y virulencia.



Figura 2.5. Principales causas de mortalidad en cerdos de engorde en EEUU (USDA, 2006)

2.2.4. *Instalaciones*

En cualquier tipo de producción ganadera, las instalaciones deben ser las adecuadas teniendo en cuenta los factores ambientales, el sistema productivo (intensivo o extensivo), el genotipo utilizado, etc. La interacción con estos factores es de importante consideración económica.

Se puede hablar de tres principios fundamentales en los que deben estar basados la construcción y el diseño de las instalaciones (Buxadé, 1996): 1) la funcionalidad (deben permitir un manejo fácil, así como facilitar el albergue, alimentación y cuidados); 2) el bienestar (deben proporcionar a los cerdos el confort necesario para alcanzar su máximo potencial productivo) y 3) la economía (deberán ser rentables y acordes a la capacidad inversora de los productores).

Las condiciones ambientales como la temperatura, ventilación y humedad afectan a la optimización de los rendimientos, debido a que la intensificación de la producción ha hecho que el cerdo sea más sensible a estos factores. Altas temperaturas pueden reducir la ingestión voluntaria a un grado inadecuado para la alta producción de carne. Las bajas temperaturas reducen la eficiencia alimentaria, mediante el aumento del uso de la energía del pienso para mantener la temperatura corporal, y aumentan el riesgo de enfermedades (Oliveira et al., 2009). El objetivo en la producción porcina de engorde es mantener al cerdo en un estado de termoneutralidad, que va variando según el peso, y que oscila entre 19 y 22°C.

Otro aspecto importante es la densidad; si es excesivamente alta, las peleas y el estrés aumentan, lo que disminuye el consumo de pienso principalmente en los animales más débiles, reduce la velocidad de crecimiento y empeora el índice de transformación, aumentando la heterogeneidad del lote (Magowan et al., 2011). La densidad animal también dependerá de factores como la temperatura ambiente, el manejo y el tipo de animal. Por lo tanto, a mayor temperatura se necesitará menor densidad animal.

Las características de los comederos y bebederos también son importantes para conseguir óptimos rendimientos productivos, y dependerán a su vez, en parte, de la densidad animal así como de la presentación del alimento que se esté suministrando (pellet, harina o líquida). Deberán estar a una altura y tener dimensiones adecuadas que permitan la accesibilidad sin problemas. El suelo será preferentemente de tipo slat, y las perforaciones deberán ocupar parcialmente la superficie (Forcada et al., 2009).

Según un trabajo de Agostini et al., (2013), un 87% de las granjas españolas evaluadas conforman los lotes con 13-20 cerdos, más del 65% utilizan un suelo emparrillado, los comederos son principalmente del tipo uni-espacio y multi-espacio (54% y 24%, respectivamente) y el 70% cuentan con un sistema de ventilación automática.

El genotipo tiene una importante interacción con las instalaciones debido a que existen razas con mejor adaptación a diferentes sistemas de producción. Así, las razas utilizadas en granjas intensivas, tanto de cerdo ligero como pesado, tienen poca adaptación a sistemas extensivos, donde se utilizan razas rústicas como la Ibérica.

El clima afecta indudablemente en los sistemas extensivos. Abundante espacio y aire fresco reducen la presión de infección en caso de enfermedad, pero si las condiciones del terreno son pobres como resultado de lluvias abundantes e inadecuados tipos de suelo, el bienestar puede comprometerse seriamente (Edwards, 2003). Además, este sistema aumenta el consumo de pienso hasta en un 16%, en parte por el aumento en el desperdicio y también porque las necesidades en energía para la termorregulación aumentan. Las razas y cruces utilizados para este sistema tienden a engrasar y a tener peores índices de conversión. En el caso de explotaciones intensivas de engorde es recomendable también mantener unas condiciones ambientales de confort, acorde con la edad/peso del animal, y no dejar a los animales a expensas de las condiciones ambientales del momento, puesto que tanto los climas fríos como los cálidos afectan negativamente a los rendimientos y también a la calidad de la carne (Rodríguez-Sánchez et al., 2009).

Está claro que las instalaciones dependerán de varios factores, y que sus características deberán enfocarse a cumplir las necesidades de confort de los cerdos. Por lo tanto, las deficiencias tendrán un impacto negativo en los rendimientos y, por ende, en la rentabilidad.

2.2.5. Alimentación

Según la FAO (2011), el consumo de proteína llegará a incrementarse en 2 ó 3 veces en el año 2050 debido al crecimiento de la población. Añade que “no existe técnica o alternativas económicamente viables de producción intensiva para proveer el total de alimento necesario para el ganado”. Por lo tanto, incrementar la eficiencia de la producción animal es la única forma para satisfacer la futura demanda de proteína de este origen.

Recientemente se estimó que el coste del pienso en las granjas porcinas representa la mayor parte (70%) de los costes de producción en España (SIP, 2011) (Figura 6).

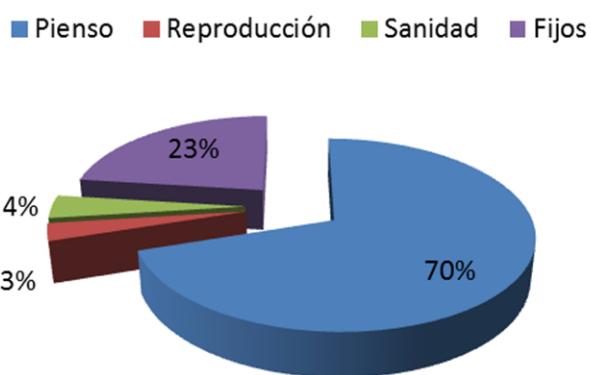


Figura 2.6. Distribución de los costes de producción de porcino en España (SIP, 2011)

Por lo tanto, los costes de producción dependen, en buena medida, del precio del alimento, la conversión alimenticia y la velocidad de crecimiento. Un incremento o descenso del 0,1% en la eficiencia alimentaria puede resultar en 10 kg de más o menos consumo de alimento por el tiempo que dura el engorde, que se traduciría en un coste extra o en un ahorro. Además, el coste del pienso tampoco es el mismo durante todo el engorde.

Son varios los factores relacionados con la alimentación que tienen una influencia decisiva en los aspectos productivos de una granja. Entre ellos destacan: la cantidad suministrada, la forma de presentación y el tratamiento térmico, el número de piensos y la contaminación ambiental.

El pienso puede ser suministrado *ad libitum* (a voluntad) o racionado. En general, y con las líneas magras actuales, se aconseja la alimentación *ad libitum* a lo largo de todo el cebo (Eissen et al., 2000). La alimentación a voluntad da lugar a mayores crecimientos diarios y a un mayor engrasamiento (Ellis et al., 1996). En España, sólo en el caso del

cerdo Ibérico en intensivo se está practicando la restricción, y es para cumplir con la normativa vigente (BOE, 2007a). Actualmente, la mayor parte de los Ibéricos son cruzados con Duroc, lo que da lugar a una progenie que crece más rápido. El peso al sacrificio deseado está en torno a 150-160 kg peso vivo (PV), y el Reglamento exige un mínimo de 10 meses de edad. Por ello, la restricción alimentaria es casi una necesidad para evitar el sobrepeso y sobreengrasamiento de los animales a esa edad.

La molienda y el tratamiento por calor son también factores importantes que deberían ser tenidos en cuenta cuando se evalúa el potencial nutricional de los alimentos. Existen dos formas básicas de presentación del pienso: harina y pellet, aunque también hay que contemplar la sopa y la alimentación líquida. Se ha observado que el aprovechamiento del alimento es mayor cuando es proporcionado en forma de pellet porque el desperdicio es menor y la digestibilidad de los nutrientes mayor (Medel et al., 2004). El estudio de Agostini et al. (2013) indica que el 90,9% de las explotaciones porcinas analizadas utilizan alimento granulado, y el 9,1% restante en forma de harina. Por otro lado, el tratamiento térmico de los cereales (cocido, micronizado, extrudido, etc.) también mejora los rendimientos productivos de los cerdos y aumenta la digestibilidad de la dieta (Medel et al., 2004). No obstante, tanto el granulado como el tratamiento con calor encarecen el pienso, por lo que en algunos casos su uso se limita a las primeras edades del animal.

El número de piensos a emplear durante el cebo ha sido objeto de estudio en numerosas ocasiones. La utilización de un sólo pienso puede llevar a la subalimentación o a la sobrealimentación, lo que representa, en ambos casos, pérdidas económicas. Lo ideal es usar varios piensos para un mayor ajuste a las necesidades del animal (Pomar et al., 2009). Teniendo en cuenta lo rápido que varían las necesidades de los animales, lo óptimo sería tener un gran número de piensos para cubrir en cada momento sus requerimientos. Tanto el NRC (2012) como FEDNA (2006) recomiendan la utilización de, al menos, tres piensos para el engorde de acuerdo con el PV: 20-60 kg, 60-100 kg y >100 kg. En el estudio de Agostini et al. (2013) se encontró que el 75% de las granjas encuestadas utilizaban tres piensos, el 24,3% cuatro y el 0,7% dos. Un aspecto que cada vez toma más fuerza es el planteamiento de la alimentación diferenciada por sexos (Lizaso, 1994.) aunque todavía no acaba de ponerse en práctica.

Entre los factores a considerar en relación con la alimentación en las granjas porcinas está también la reducción de la contaminación por desechos. Incrementar el número de fases de alimentación o practicar la alimentación diferenciada por sexos contribuiría a reducir significativamente la excreción de nutrientes. El alto coste de los ingredientes de la alimentación, el uso de fuentes no renovables de fosfato y el dramático incremento en la carga ambiental, resultado del excesivo uso de abono como fertilizante en la tierra, son los mayores retos para la industria ganadera (Pomar et al.,

2009). No obstante, en la actualidad se están llevando a cabo numerosos estudios alimentarios para tratar de paliar el problema (Cerisuelo et al., 2012).

Se puede concluir que la rentabilidad de las explotaciones de cerdos es de tipo multifactorial, dependiendo de factores genéticos, reproductivos, sanitarios, de instalaciones y de la alimentación. Es este último el que representa mayor impacto económico para los productores. Por ello, habrá que prestarle especial atención. Esto confirma que buena parte de los esfuerzos para mejorar la rentabilidad de las empresas deberían estar dirigidos a la alimentación y los factores que la afectan.

2.3. Aspectos nutricionales y alimentarios que influyen en la productividad de los cerdos

Entre los factores nutricionales y alimentarios que más afectan al rendimiento de los cerdos, así como a la calidad del producto final, destacan: la energía, la proteína (y los aminoácidos), la relación entre ambos y la ingestión voluntaria.

2.3.1. Energía

Del 60 al 70% de una dieta para cerdos en crecimiento está constituido por ingredientes ricos en hidratos de carbono, como los granos de cereales y sus subproductos. De entre los carbohidratos, el almidón supone la fuente principal de energía. Dicha energía se necesita para varios fines. Por un lado, se requiere para el mantenimiento de los procesos fisiológicos basales (movimiento, digestión, respiración, circulación sanguínea y renovación de los tejidos corporales gastados) y para el mantenimiento de la temperatura corporal. Pero también se necesita para la síntesis de la leche, reproducción y retención de proteína y lípidos (deposición de tejido magro y adiposo).

El exceso de energía ingerido es almacenado en el cuerpo como lípidos. En cerdos, los lípidos corporales son principalmente de origen dietético, pero también pueden ser sintetizados *de novo* por el animal a partir de los carbohidratos o proteínas consumidos en exceso. En consecuencia, el nivel energético de la dieta y el tipo de ingrediente energético determinarán la deposición proteica y lipídica corporal, y la composición en ácidos grasos. Por otra parte, la partición de estos nutrientes entre los diferentes tejidos corporales impactará en la calidad de la canal y también de la carne (van Milgen et al., 2012).

Las necesidades en energía de un cerdo en crecimiento aumentan con la edad (Whittemore et al., 2001). Para cubrirlas, se suministran piensos *ad libitum* con un contenido de alrededor de 3.200 kcal energía metabolizable (EM)/kg. La concentración energética de la dieta es importante puesto que el cerdo, como monogástrico, se alimenta para satisfacer sus necesidades de energía. Así, en un rango relativamente amplio de densidades energéticas (2,7-3,2 Mcal EM/kg de MS), la cantidad de alimento que consumirá dependerá del contenido en energía del pienso (Cole et al., 1967). Numerosos estudios demuestran que una restricción energética durante el engorde reduce la ganancia media diaria y empeora el índice de conversión, aumentando el rendimiento magro en la canal (Apple et al., 2004; Hinson et al., 2011).

Además de la edad del animal, hay otros factores de los que también dependen los requerimientos energéticos, como son el sistema de producción y las condiciones ambientales. De hecho, las necesidades en energía de cerdos criados en extensivo en el norte de Europa son generalmente altas debido al incremento de la demanda calórica por el clima y también por el desplazamiento, mientras que las necesidades proteicas apenas se ven afectadas (Edwards, 2003).

La temperatura efectiva ambiental, que es la temperatura que el cerdo experimenta y que está influenciada por la temperatura del aire, el aislamiento y tipo de suelo de la nave, la ventilación, el tamaño del grupo y el tamaño del corral (NRC, 1981), es el factor que más afecta a la utilización de la energía por el animal. El cerdo tiene una temperatura crítica mínima y máxima delimitada por su zona de termoneutralidad, y si la temperatura efectiva del ambiente está por encima de la temperatura máxima crítica, la energía es utilizada para disipar el calor corporal. Por debajo de la temperatura crítica mínima, la energía es dirigida a procesos productivos para proveer de calor y mantener la temperatura del cuerpo. Tanto las altas (White et al., 2008) como las bajas (Lopez et al., 1991) temperaturas provocan un estrés en el animal que repercute en un empeoramiento de los índices productivos. El descenso de la temperatura está asociado con cambios en la proporción de los tejidos, incrementando el rendimiento magro y reduciendo la cobertura grasa de la canal (Lefaucheur et al., 1991; Rodriguez-Sanchez et al., 2009).

2.3.2. Proteína y Aminoácidos

El crecimiento es el resultado de la acumulación de proteína, grasa y minerales y la energía asociada. La deposición de 1 g de proteína incrementa las reservas energéticas en 5,6 Kcal, mientras que un 1 g de grasa resulta en 9,4 Kcal de energía de reserva (Richard, 2001).

La proteína alimentaria es quizás el tipo de nutriente cuya deficiencia es más frecuente, sobre todo porque la mayoría de los alimentos disponibles como fuentes de energía tienen poca proteína y los complementos proteicos son caros.

Los cerdos recién nacidos tienen grandes necesidades proteicas. La leche contiene mucha proteína, de modo que la deficiencia en dicho nutriente durante el periodo de lactación no es un problema. No obstante, tras el destete, los lechones son especialmente vulnerables a una deficiencia proteica, ya que sus necesidades en proteína son moderadamente altas y se mantienen así durante el crecimiento (Whittemore et al., 2001). Un nivel inferior al óptimo de proteína requerido produce una reducción en el crecimiento y en la utilización del alimento (Church y Pond, 1987).

Los requerimientos en aminoácidos de los cerdos en crecimiento pueden ser estimados a partir de la composición en aminoácidos de la proteína depositada en el cuerpo, siempre que se conozcan los requerimientos de mantenimiento y la eficiencia con que son absorbidos (Heger et al., 2003). Hay suficiente información sobre la composición corporal en aminoácidos y sobre la retención proteica en cerdos (Kirchgessner et al., 1989; Kyriazakis et al., 1993; Bikker et al., 1994).

Existen 20 aminoácidos diferentes que comúnmente conforman las proteínas, pero no todos son componentes esenciales en la dieta. El cerdo tiene la capacidad de sintetizar algunos de ellos, y por tanto no es necesario proporcionarlos en el pienso; se les conoce como "aminoácidos no esenciales". Los aminoácidos que no pueden ser sintetizados, o que son sintetizados en una tasa menor a la necesaria para permitir un crecimiento óptimo, son conocidos como "aminoácidos esenciales". El grupo de los no esenciales lo componen: alanina, aspargina, ácido aspártico, cisteína, ácido glutámico, glutamina, glicina, prolina, serina y tirosina. Al grupo de los esenciales pertenecen: arginina, histidina, isoleutina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptófano y valina.

Las necesidades de proteína del cerdo se satisfacen mediante una selección apropiada de aminoácidos esenciales más un suministro adecuado de fuentes de nitrógeno no específicas para el uso en la síntesis de aminoácidos no esenciales. El concepto de proteína ideal se describe como un perfecto balance de aminoácidos esenciales y no esenciales (Fuller et al., 1983; Baker et al., 1993). La eficiencia de utilización ha sido muy estudiada en lisina (Batterham et al., 1990; Adeola, 1995), y menos en otros aminoácidos también limitantes como la treonina (Adeola, 1995), los sulfurados (Chung y Baker, 1992) o el triptófano (Batterham et al., 1994). Los datos en la literatura sobre la utilización de otros aminoácidos en cerdos son mucho más escasos o nulos (Heger et al., 2003).

La lisina es el primer aminoácido limitante del crecimiento. Una deficiencia en lisina reduce la ingestión, el crecimiento y la eficiencia de utilización del alimento,

especialmente en los cerdos jóvenes (Fabian et al., 2002). Además, puede causar un menor depósito de proteína y mayor de grasa en el organismo (Church y Pond, 1987; Rodriguez-Sanchez et al., 2009). También se ha observado que una reducción de lisina puede incrementar el contenido en grasa intramuscular de la carne (Lebret et al., 2001).

Las necesidades en metionina y cistina (aminoácidos azufrados) suelen ser consideradas conjuntamente, ya que una deficiencia en cistina puede ser el resultado de una escasa síntesis a partir de la metionina. La falta de metionina + cisteína, treonina o triptófano disminuye el crecimiento y la eficiencia de utilización del alimento (Richard, 2001). El triptófano es necesario porque conduce al incremento de síntesis de serotonina en el cerebro, efecto encontrado en varias especies (Adeolao y Ball, 1992). Pero, además, hay que tener en cuenta que tanto el triptófano de origen dietario como el endógeno se degradan a escatol, indolacetato, indolpiruvato, etc. por fermentación microbiana en el intestino grueso, y su olor fecal contribuye al problema del olor sexual (Bonneau et al., 1994) debido a que parte del escatol formado en el intestino es absorbido y se acumula en el tejido adiposo. Por lo tanto, debe evitarse un exceso de este aminoácido en la dieta del cerdo antes del sacrificio.

2.3.3. Relación energía:proteína

La relación entre la deposición proteica y la ingestión de proteína y energía consta de dos fases: 1) una inicial proteína-dependiente, en la que la deposición proteica está linealmente relacionada con la ingestión de proteína y es independiente de la ingestión de energía y de factores como el sexo o genotipo, y 2) una fase energía-dependiente en la que la proteína adicional es depositada sólo cuando la energía ingerida aumenta (Haresign et al., 1993).

Los cerdos en crecimiento son alimentados con cantidades crecientes de proteína, de una calidad relativamente constante, junto con cantidades adecuadas de energía. Así, la deposición proteica se incrementa linealmente hasta alcanzar su valor máximo a un nivel concreto de ingestión proteica. Incrementos adicionales de proteína ingerida no producirán ningún efecto en la deposición proteica. Sin embargo, cuanto mayor sea el nivel energético de la ración, la deposición proteica aumentará hasta un nuevo nivel máximo. Por tanto, la deposición proteica no se ve afectada por la energía ingerida cuando la proteína está limitada. Por el contrario, sí se ve afectada por la ingestión de energía cuando la proteína de la dieta es similar o está por encima de los requerimientos.

Está establecido que la relación energía-proteína es, en esencia, una relación de forma lineal/*plateau* con el valor del *plateau* representado por la genética del cerdo o su capacidad intrínseca para el crecimiento proteico.

Cuando la deposición proteica está linealmente relacionada a la ingestión de energía, como ocurre en los sistemas de alimentación *ad libitum*, la relación grasa:proteína y el contenido de grasa corporal se incrementan de una forma constante. Sin embargo, si la deposición proteica alcanza el *plateau* y la ingestión de energía se incrementa se produce un fuerte aumento en la relación grasa:proteína y del contenido graso corporal.

2.3.4. Ingestión voluntaria

Los animales comen para satisfacer sus necesidades, movidos por sensaciones de hambre y saciedad. Parece evidente la existencia de un mecanismo de regulación de la ingestión, ya que cada especie animal tiende a mantener constante su ritmo de crecimiento, así como su peso adulto, a pesar de las variaciones en actividad y de la influencia de los factores ambientales en el gasto energético.

Con independencia de la existencia de una regulación de tipo metabólico, la ingestión puede verse limitada también por la repleción del tracto digestivo, influida a su vez por la capacidad física de éste y por la velocidad de tránsito de la materia ingerida por el animal. La velocidad de tránsito de la ingesta depende del flujo de salida del estómago de lo ingerido y del paso al duodeno, que se inicia inmediatamente después de la ingestión. En los cerdos esta velocidad es lineal, y se mantiene hasta que ha pasado la mitad de la ingesta. A partir de este momento comienza a reducirse exponencialmente. La velocidad de tránsito no parece verse afectada por el peso del animal, siendo casi la misma en un lechón que en un cerdo adulto. En cambio, el volumen del tracto digestivo dependerá del tamaño corporal del cerdo.

2.3.4.1. Factores que afectan a la ingestión voluntaria

La ingestión voluntaria está altamente correlacionada tanto con la velocidad de crecimiento como con la tasa de crecimiento magro, y va a depender principalmente de la capacidad de ingestión propia de cada animal, las condiciones ambientales y el tipo de alimentación.

2.3.4.1.1. Capacidad de ingestión

La capacidad de ingestión de un cerdo en crecimiento está determinada fundamentalmente por el peso vivo, el genotipo y el sexo.

Está ampliamente demostrado que existe una relación positiva entre la capacidad de ingestión de alimento y el PV o la edad del cerdo a lo largo de buena parte de su vida productiva. Durante los años 80 y 90 se trató de modelizar esta relación en los cerdos en crecimiento-cebo (Tullis, 1982.; Kanis y Koops, 1990; Ramaekers et al., 1996; Lorenzo-Bermejo et al., 2000) encontrándose que es de tipo curvilíneo (lineal hasta los 80-100 kg, dependiendo de la raza y/o del potencial de crecimiento, y con un *plateau* a partir de ese momento). De hecho, Weatherup et al. (1998) observaron que el consumo medio diario aumentaba de forma lineal entre los 50 y los 100 kg de PV en machos enteros o castrados, y en hembras Landrace x Large White, pero permanecía constante desde los 110 hasta los 125 kg de PV. Similares resultados fueron encontrados por Latorre et al. (2004) en cerdos Pietrain x (Landrace x Large White).

También se ha mostrado en numerosos estudios que la ingestión voluntaria de las razas grasas es mayor que la de las razas magras. Así, Hsia y Lu (1989) observaron, tras un estudio con 192 cerdos de 20,1 kg de PV de tres razas diferentes alimentados *ad libitum* durante 3 meses, que la raza Duroc mostró los mayores consumos (2,00 kg/día) y la Landrace danés los más bajos (1,89 kg/día), con la Yorkshire en una posición intermedia (1,99 kg/día). También, Tibau et al. (1997) detectaron que el consumo de pienso en cerdos Duroc era significativamente mayor que en cerdos Pietrain. Algunos trabajos, sin embargo, no han observado grandes diferencias (Taylor et al., 2012), y otros sí pero dependiendo de la etapa de crecimiento estudiada (Schulze et al., 2002).

Durante décadas se ha realizado un gran esfuerzo en genética para obtener cerdos con canales magras y mejores conversiones alimenticias. Esta selección ha traído como consecuencia cerdos con menor capacidad de ingesta. No obstante, más recientemente, la mejora genética también ha trabajado en tratar de conseguir genotipos para mayor apetito, porque éste se ha relacionado con una tasa rápida de crecimiento de tejido graso, aspecto que interesa para la elaboración de embutidos y de productos curados, como es el jamón. Como consecuencia de todo ello surgen nuevas líneas genéticas que dan lugar incluso a mayores diferencias intra-raza que entre-razas. En esta línea, Latorre et al. (2003a) observaron que, entre 25 y 130 kg de PV, la progenie de cerdos de línea paterna Duroc holandés tenía mayor consumo medio diario de pienso que la descendencia de Duroc danés (2,76 vs 2,63 kg/d, respectivamente), siendo en ambos casos la línea materna Landrace x Large White. Estas diferencias se corroboraron en un estudio posterior (Latorre et al., 2003b).

Por otro lado, han sido muy investigadas las diferencias entre consumo voluntario de los distintos sexos en porcino. Aunque algunos autores apenas las han encontrado entre machos enteros y hembras (McCracken y Stockdale, 1989), la mayor parte de los trabajos muestran mayor capacidad de ingestión en los machos enteros (Hsia y Lu, 1989; Weatherup et al., 1998), lo cual afecta también a la composición de su canal y su carne, resultando más grasas las hembras (Barton-Gade, 1987). Este efecto se ha observado a lo largo de todo el periodo de cebo, pero el NRC (1998) muestra que las diferencias se acentúan a partir de los 40 kg de PV.

La castración quirúrgica de los machos, que se lleva cabo principalmente para evitar el olor sexual cuando se sacrifican por encima de 100 kg de PV, y que además facilita el manejo de los animales y aumenta la deposición grasa (Bonneau, 1998), conlleva un efecto sobre la ingestión de alimento. Hay unanimidad en que los machos enteros necesitan menos pienso que los castrados (Andersson et al., 1997; Weatherup et al., 1998), independientemente de la raza y de la fase de engorde estudiada (Campbell y Taverner, 1988; Serrano et al., 2008).

Las diferencias en ingestión voluntaria entre machos castrados y hembras también han sido ampliamente mostradas. En un estudio de Hsia y Lu (1989) se observó que los machos castrados consumían 648 g/día y las hembras 583 g/día. Estas diferencias se acentúan con la edad (o el peso). Así, con cerdos de 130 kg de PV se detectaron diferencias de 180 g/d (Latorre et al., 2009) y con cerdos de 150 kg de PV de 220 g/d (Serrano et al., 2008).

El anuncio de la prohibición en la UE-27 de la castración quirúrgica sin anestesia a partir de 2018, asociada al tema del bienestar animal, ha provocado la necesidad de buscar alternativas viables entre las que destaca la inmunocastración. Se trata de una inmunización contra el factor de liberación GnRF que permite al cerdo crecer como un macho entero hasta aproximadamente los 70 kg de PV (Boler et al., 2011). Cronin *et al.* (2003) encontraron que los cerdos inmunocastrados presentaban mayores ingestiones que los machos castrados quirúrgicamente (3,33 vs 2,90 kg/d, respectivamente). Morales *et al.* (2011) detectaron diferencias similares.

El olor sexual en la carne de las hembras no está demostrado, y por ello no suelen castrarse aunque se sacrificen a pesos elevados. La única excepción es el caso de las Ibéricas cebadas en extensivo y destinadas a sacrificio, que tradicionalmente se han castrado para evitar la preñez en caso de ser montadas por jabalíes. Aunque son escasos los trabajos en este campo, parece que la castración aumenta su capacidad de ingestión en un 8-10% (Peinado et al., 2012). La inmunocastración en hembras está todavía en investigación, pero estudios preliminares muestran un efecto similar al que provoca en los machos (Daza et al., 2013).

En México se castran el 100% de los lechones machos cuando tienen menos de una semana de edad. La castración que se realiza es la de tipo quirúrgico, pero poco a poco se está introduciendo la inmunocastración.

2.3.4.1.2. *Condiciones ambientales*

Probablemente la temperatura es el factor ambiental que más se ha estudiado en relación a la ingestión de alimento. Algunos estudios han mostrado que la disminución de la temperatura por debajo de la zona de termoneutralidad (19-22°C) está asociada con un incremento de la ingestión voluntaria (Ledividich et al., 1985), y la razón está en que los animales tienen que comer más para generar calor y mantener una temperatura adecuada (Mavromichalis, 2006). Sin embargo, por encima de la zona de termoneutralidad la ingestión voluntaria disminuye (Rinaldo y Ledividich, 1991) debido a que los animales necesitan reducir la producción de calor (Mavromichalis, 2006). Además, la temperatura influye en otros parámetros como la ganancia media diaria o el índice de conversión (Manno et al., 2006; White et al., 2008), o incluso la composición de la carne. De hecho, en granjas de ambiente natural se ha observado que los cerdos cebados durante el verano tienen menor espesor de grasa dorsal y contenido en grasa intramuscular que los engordados en invierno (Rodriguez-Sánchez et al., 2009).

Otros factores relacionados con el ambiente que pueden afectar a la ingestión voluntaria son la disponibilidad de espacio y el tamaño del grupo. Las necesidades de espacio de los cerdos dependen del peso corporal. Un decrecimiento en la disponibilidad de espacio produce una caída de la ingestión y del crecimiento (Edwards et al., 1988). Gonyou y Stricklin (1998) realizaron un experimento con cerdos de engorde alimentados *ad libitum* con una dieta comercial, durante 12 semanas, y alojados a diferentes densidades ($0,30, 0,39, 0,48 \text{ m}^2 \times \text{PV}^{0.667}$), encontrando mayores consumos en los animales que disponían de mayor espacio debido a un mayor número de acercamientos al comedero.

Por otro lado, los cerdos son animales que crean jerarquías sociales. Por eso, el tamaño del grupo es de gran importancia en el manejo. Se ha observado que cuanto mayor es el tamaño de grupo menor es la ingestión voluntaria (Hyun y Ellis, 2001). Wolter et al. (2000) detectaron en un experimento con 1.920 lechones de un cruce comercial, divididos en grupos de 100 o de 20 animales, que los alojados en grupos grandes comían menos alimento que los alojados en grupos pequeños (465 vs 498 g/d). Este efecto se ha visto especialmente con comederos tipo tolva holandesa, donde el espacio para comer es un aspecto especialmente limitante.

2.3.4.1.3. *Tipo de alimentación*

Entre los aspectos alimentarios que más influyen en la ingestión voluntaria de los cerdos están la composición de la dieta y la percepción sensorial.

Como se ha mencionado anteriormente, los animales monogástricos tienden a mantener constante el consumo de energía, regulando la ingestión de pienso dentro de un rango de concentraciones que varía entre 2,7 y 3,2 Mcal EM/kg de MS en el caso de los cerdos (Cole et al., 1967). Por debajo de este rango, la ingestión de energía disminuye por razones de repleción, pero con concentraciones energéticas superiores, que exigen la incorporación de grasa al pienso, la compensación es incompleta y la ingestión de energía tiende a aumentar. Suárez-Belloch et al. (2013) encontraron, en cerdos Duroc x (Landrace x Large White) de entre 100 y 130 kg PV alimentados *ad libitum*, con dietas con la misma concentración de proteína y lisina (15,2 y 0,7%, respectivamente), que al aumentar la concentración energética de la dieta de 2.280 a 2.420 kcal de EN/kg se reducía el consumo diario de pienso pero se mantenía la ingestión diaria de energía.

Los desequilibrios en el aporte de aminoácidos también pueden dar lugar a variaciones en el consumo con el fin de cubrir las necesidades del nutriente limitante. Así, la restricción en lisina reduce la ingestión de pienso y la velocidad de crecimiento, tanto si se lleva a cabo durante la fase de crecimiento (Chiba et al., 1999) como durante la fase de acabado (Rodríguez-Sánchez et al., 2011). Además, conlleva un incremento en el espesor de grasa de la canal y en el contenido en grasa intramuscular (Heyer y Lebret, 2007). Si la restricción se produce durante la fase juvenil y le precede un periodo de alimentación a voluntad, el animal puede presentar “crecimiento compensatorio” debido a un aumento en la ingestión diaria de alimento en la fase de compensación, alcanzando el peso al sacrificio a la misma edad que los que no sufren la restricción aminoacídica. No obstante, la compensación del crecimiento dependerá del grado de restricción, la duración del periodo de restricción y la duración del periodo de compensación (Andersen et al., 2005).

La percepción sensorial puede influir también en la ingestión voluntaria al mejorar la palatabilidad y el aroma del pienso, lo que aumenta el grado de apetencia que suscita en el individuo. En la mayoría de los animales domésticos, el sentido del olfato está muy desarrollado, siendo su sensibilidad en el lechón 2000 veces superior a la del hombre. Aun así, es difícil determinar en qué medida influye en la selección de los alimentos. Existen sustancias aromáticas que se añaden a los piensos para aumentar su palatabilidad, aunque su efecto sobre el consumo a largo plazo no se ha demostrado convincentemente, limitándose en la mayor parte de los casos a respuestas transitorias. No obstante, recientemente se está encontrando, en lechones,

que la preferencia puede estar influida por la fuente proteica (Figueroa et al., 2012), por la densidad energética de la dieta (Guzman-Pino et al., 2012) o incluso por preferencias adquiridas por la madre antes del parto (Figueroa et al., 2013). En lo que se refiere al sentido del gusto, la mayor parte de los animales tienen preferencias por ciertos sabores, aunque existe una alta variabilidad individual. Así, el lechón aprecia el sabor dulce de las disoluciones de sacarosa. El sentido del tacto tiene importancia en el consumo de piensos granulados, cuyo tamaño o falta de consistencia pueden limitar la ingestión.

De todo lo dicho podemos concluir que la regulación del consumo voluntario es multifactorial y su predicción muy compleja pero necesaria, ya que resulta vital para el diseño del plan nutricional de una explotación.

2.3.4.2. Métodos de determinación de la ingestión voluntaria en porcino

En cualquier sistema de producción, la ingestión voluntaria de los alimentos es uno de los principales factores a considerar cuando se pretende predecir el estado nutricional de los animales u optimizar la utilización de los recursos alimenticios propios o adquiridos. De hecho, la variabilidad en los consumos tiene un impacto sobre el aporte de nutrientes mucho más importante que la variabilidad en los coeficientes de utilización digestiva de la ración (Riley, 1989). En el caso de los cerdos, el conocimiento exacto de la ingestión y de sus principios reguladores permitirá la formulación de raciones que aseguren la ingestión de cantidades suficientes, pero no excesivas, de nutrientes que permita optimizar el rendimiento de los animales (Torrallardona y Roura, 2009).

En animales en confinamiento, la determinación de la ingestión es sencilla, y se obtiene por diferencia entre las cantidades ofrecidas y las rehusadas. Sin embargo, cuando los animales no están alojados en cubículos individuales (es decir, en la mayoría de los casos), la determinación directa de la ingestión individual es imposible y requiere del uso de métodos indirectos. Además, en algunos sistemas de producción de porcino, como es el caso del Ibérico, los animales pastan durante algunos meses al año, por lo que también se hace necesaria la implementación de métodos de estimación de la ingestión de los animales en pastoreo. En este último caso, los métodos se han dividido en dos grandes grupos: los que se basan en mediciones sobre la pradera y los basados en estimaciones directas en el animal (Greenhalgh, 1982).

2.3.4.2.1. *Mediciones agronómicas*

Se basan en estimar la cantidad de forraje en la pradera antes y después de ser pastada y obtener la biomasa ingerida por diferencia (Sehested et al., 2004). La exactitud de las estimaciones de la ingestión dependerá de tres factores: 1) el error en la estimación de la biomasa inicial y final; 2) la proporción del forraje ofrecido que es ingerido; 3) el crecimiento del forraje durante el periodo de pastoreo y las pérdidas por senescencia o por la actividad de insectos y/o roedores (Minson, 1990).

La estimación de la biomasa al inicio y al final del periodo de pastoreo se puede realizar con razonable exactitud aunque, en praderas donde el crecimiento es muy activo, la acumulación de material durante el período de aprovechamiento representa una fuente de error importante para obtener un valor fiable. Por consiguiente, la utilización del método sería adecuada en periodos de pastoreo cortos y con presiones altas, para tratar de que la acumulación de biomasa sea lo más baja posible y así obtener el menor sesgo en la estimación de la ingestión (Meijs et al., 1982). Por supuesto, el método no permite la estimación de la ingestión individual de los animales.

2.3.4.2.2. *Mediciones sobre los animales*

La estimación individual de la ingestión de MS en cerdos, tanto en confinamiento como en pastoreo, es difícil, y todos los métodos comúnmente utilizados tienen limitaciones, y por consiguiente llevan implícitos en sí mismos una fuente de error (Minson, 1990). La principal ventaja de los métodos basados en mediciones en los animales radica en que de un grupo de éstos se pueden obtener estimaciones individuales de la ingestión para cada animal y día, aunque tales estimaciones no son completamente independientes unas de otras (Mayes y Dove, 2000).

2.3.4.2.3. *Métodos zootécnicos*

Uno de los métodos más utilizados ha sido el de la medición de la producción animal, basada en el conocimiento del contenido en nutrientes del pienso o del pasto, y de las necesidades nutritivas del animal. Para estimar la ingestión con este método se asume que el animal ha de ingerir una cantidad de pienso o pasto que le permita cubrir las necesidades para unos rendimientos dados (mantenimiento, crecimiento, gestación,

producción de leche, etc.). Es un método sencillo, aunque su precisión es baja y requiere de periodos suficientemente largos para evidenciar la respuesta del animal.

2.3.4.2.4. Estimación a partir de la digestibilidad y de la producción fecal

Este es uno de los métodos más ampliamente difundidos (Dove y Mayes, 2005), y la ecuación que se aplica para el cálculo es la siguiente:

$$\text{Ingestión} = \text{Producción fecal} / (1 - \text{Digestibilidad})$$

La precisión de la estimación de la ingestión dependerá de la exactitud con que se obtengan ambas variables, de manera especial la digestibilidad, ya que pequeñas desviaciones en su cálculo pueden ocasionar errores proporcionalmente mayores en la estimación de la ingestión, especialmente cuando la digestibilidad es alta y por lo tanto el denominador de la ecuación es pequeño.

2.3.4.2.4.1. Estimación de la digestibilidad

Puede realizarse *in vitro*, con los inconvenientes conocidos de representatividad de la técnica, o mediante el empleo de sustancias indicadoras (marcadores), tanto externas como internas.

Como marcadores externos se han utilizado, fundamentalmente, óxidos metálicos de cromo o de titanio, con el inconveniente compartido de la necesidad de su adición homogénea en el pienso, en cantidades conocidas. También pueden ser suministrados en cápsulas o soluciones (Jongbloed et al., 1991; Jagger et al., 1992), aunque la variación diaria en la concentración fecal es mucho más alta en estas condiciones.

Por su parte, los marcadores internos más utilizados han sido las AIA, aunque ha habido tímidos intentos de validar el uso de los *n*-alcanos, mucho más estudiados en animales rumiantes (McCarthy et al., 1974; Dove y Mayes, 2005).

Para poder utilizar un marcador con garantías de fiabilidad, su recuperación fecal debería ser completa o, al menos, un valor constante que permita el uso de un factor de corrección en el cálculo de la digestibilidad (Jagger et al., 1992).

El marcador externo más frecuentemente usado en cerdos es el óxido de cromo (Cr_2O_3), con recuperaciones aceptables (Jongbloed et al., 1991) aunque los resultados

no han sido siempre satisfactorios (Carew, 1973; McCarthy et al., 1974; Jagger et al., 1992; Yin et al., 2000). Este indicador ha sido asociado a propiedades carcinogénicas o la oxidación de grasas no saturadas (Peddie et al., 1982; Steele y Clapperton, 1982), aunque el principal inconveniente desde el punto de vista práctico consiste en la necesidad de su correcta homogeneización con el pienso para evitar posibles efectos circadianos, aunque éstos no han sido siempre observados (Jagger et al., 1992; VanLeeuwen et al., 1996).

Las AIA han sido el marcador interno más usado como alternativa a la utilización del Cr_2O_3 (McCarthy et al., 1974). Sin embargo, y a pesar de sus ventajas potenciales, los resultados hasta la fecha no han sido completamente satisfactorios. Entre las posibles causas puede citarse su recuperación en muchos casos incompleta e inconsistente (Kavanagh et al., 2001), debido a posibles transformaciones sufridas en el tracto digestivo, su absorción o a una inconsistencia en los métodos analíticos empleados (Mayes y Dove, 2000). Todas estas razones pueden ayudar a explicar el hecho de que, en algunos casos, la efectividad de los marcadores internos sea alta pero en otros no.

2.3.4.2.4.2. *Estimación de la producción fecal*

En pastoreo o en condiciones de confinamiento en grupo, la producción fecal individual puede ser determinada, básicamente, de dos formas. La primera es mediante bolsas sujetas a los animales con arneses (Cordova et al., 1978), y presenta los inconvenientes de un alto coste laboral, difícil colección en hembras y/o contaminación de las heces con orina, pérdida de heces, y posibles alteraciones de la actividad de pastoreo (Le Du y Penning, 1982). La segunda es mediante la infusión continua de una sustancia indicadora durante al menos cuatro días, posterior muestreo de las heces durante un periodo y con una frecuencia variables, y determinación de la concentración del marcador (Producción fecal = Dosis de marcador/Concentración de marcador en heces). Varias sustancias indicadoras han sido utilizadas para este propósito: Cr_2O_3 , óxido de titanio (TiO_2) o alcanos artificiales, entre otros. El más ampliamente utilizado, en ganado porcino (Moter y Stein, 2004; Sulabo et al., 2010; Agudelo et al., 2010) ha sido el Cr_2O_3 , pese a presentar algunos inconvenientes ya citados.

2.3.4.2.5. *El método de los n-alcanos*

Un *n*-alcano es un hidrocarburo alifático que sólo contiene enlaces sencillos C-H. Los alcanos son la clase más simple y menos reactiva de todos los compuestos orgánicos,

ya que sólo contienen carbono e hidrógeno y no tienen grupos funcionales. Cualquier isómero de estos compuestos tiene la misma fórmula molecular (C_nH_{2n+2}), aunque su estructura sea diferente. Los *n*-alcanos o parafinas están presentes en una mezcla con cadenas de átomos de carbono entre los rangos 21 a 37. Cerca del 90% de los *n*-alcanos tienen números impares de átomos de carbono, siendo el C_{29} , C_{31} y C_{33} los alcanos con más presencia en las especies vegetales (Dove y Mayes, 2005).

El método ha sido ampliamente utilizado en animales rumiantes (Mayes y Lamb, 1984; Mayes et al., 1986; Dove y Mayes, 1991; Oliván y Osoro, 1997; Dove et al., 2000; Lewis et al., 2003; Giraldez et al., 2004; Dove y Mayes, 2005), aunque su uso en ganado porcino se reduce a unos escasísimos trabajos en condiciones de pastoreo (Sehested et al., 1999; Wilson et al., 1999; Ribeiro et al., 2005; Mendes et al., 2007; Kanga et al., 2012).

Wilson *et al.* (1999) realizaron un trabajo con cerdos en condiciones de estabulación para medir la recuperación fecal de alkanos dosificando dotriacantano (C_{32}) como marcador externo, con o sin la adición de aceite de soja en la dieta. Estos autores señalaron que la adición de aceite de soja no tuvo efecto sobre la recuperación de los alkanos, y tampoco observaron un efecto circadiano sobre la concentración fecal de alkanos. Sin embargo, y al igual que en animales rumiantes, las recuperaciones de alkanos fueron incompletas (ej. 43,3% para el tetracosano (C_{24}) y 98,6% para el C_{32}), aunque no se encontró relación con la longitud de la cadena de carbono. La recuperación fecal para los alkanos dosificados fue mayor que para los naturales, no habiéndose podido estimar de forma adecuada la ingestión debido a estas discrepancias.

Por su parte, Ribeiro *et al.* (2007) realizaron un estudio para validar la técnica de los *n*-alcanos en cerdos Alentejanos criados en montanera. Los animales fueron confinados en jaulas metabólicas, y alimentados diariamente con una dieta compuesta de 3 kg de bellotas y 400 g de hierba distribuida en dos raciones diarias. Se dosificaron dos alkanos externos, C_{32} y hexatriacantano (C_{36}), una o dos veces al día. Los autores señalaron que la estabilización de la recuperación fecal ocurrió a partir del quinto día después de la primera dosificación, que no hubo variaciones circadianas en la concentración fecal de alkanos, y que las recuperaciones fecales fueron del 106,8% y 110,0% para C_{32} y C_{36} , y del 75,1%, 133,9% y 91,5% para el heptacosano (C_{27}), nonacosano (C_{29}) y hentriacantano (C_{31}), respectivamente.

Hasta donde nosotros sabemos, la validación del método en cerdos alimentados exclusivamente con piensos no ha sido abordada, siendo su estudio de gran interés.

2.4. Recapitulación y conclusiones de la revisión bibliográfica

Se sabe que existen múltiples factores que afectan a la rentabilidad de las explotaciones porcinas, tanto genéticos, reproductivos y sanitarios, como de alimentación. El gran desarrollo en todos estos campos, durante las últimas décadas, ha hecho del porcino un sector muy innovador y competitivo. No obstante, todavía hay numerosos aspectos por mejorar. Teniendo en cuenta que la alimentación supone alrededor del 70% de los costes de producción, es razonable aunar esfuerzos en estudiar factores que ayuden a profundizar en el conocimiento lo que, en último término, repercutirá en una optimización de los rendimientos. En este contexto, nos planteamos que la heterogeneidad de pesos dentro de cada lote es uno de los problemas más comunes y relevantes para el manejo y rentabilidad de los cebaderos. Los estudios sobre los requerimientos de energía y aminoácidos en estos animales son abundantes, aunque el desarrollo de métodos para determinar la ingestión en condiciones prácticas de alojamiento es limitado. El método de los *n*-alcanos ha sido estudiado suficientemente en rumiantes, y aún con un número todavía importante de interrogantes ha ayudado a reducir el error en el cálculo de la ingestión en pastoreo. En porcino en condiciones extensivas ha sido probado con relativo éxito, aunque para cerdos en estabulación parece no haber sido siquiera ensayado.

3. Material y métodos

3.1. Animales y dietas experimentales

Se utilizaron 12 cerdos Landrace x Large White, todos machos castrados, de $44,9 \pm 0,78$ kg y 15 semanas de edad, procedentes de una granja comercial de la empresa Turolense Ganadera SA (TUGASA) situada en la localidad de Lagata (Zaragoza).

A su llegada a la granja experimental, los animales fueron pesados, identificados mediante crotales y alojados en corrales individualmente (Foto 3.1).

Los procedimientos experimentales se ajustaron a lo descrito en el protocolo aprobado por la Comisión Ética Asesora de Experimentación Animal de la Universidad de Zaragoza (BOE, 2007b) sobre protección de los animales utilizados para experimentación y otros fines científicos.

Se formuló una dieta de tipo comercial que cumpliera con las recomendaciones de FEDNA (FEDNA, 2006) para cerdos de ese PV. La formulación se llevó a cabo por personal de la Unidad de Nutrición Animal de la Universidad de Zaragoza utilizando el programa Winfeed 2.8. La composición en ingredientes y el valor nutricional estimado (FEDNA, 2010) se muestran en la Tabla 3.1.

El pienso se elaboró en la fábrica de TUGASA (Híjar, Teruel) y se suministró en forma de harina a lo largo de todo el periodo experimental.

El experimento constó de tres periodos consecutivos en función de la edad y peso de los cerdos. En el periodo 1 (P1) se estudió la recuperación fecal de los alcanos internos del pienso, y en los periodos 2 (P2) y 3 (P3) la recuperación de los alcanos internos y de algunos dosificados.

Partiendo de la premisa de que la restricción alimentaria podría afectar a la recuperación fecal de los *n*-alcanos, se consideraron dos tratamientos experimentales en función de la cantidad de pienso suministrado: *Ad libitum* vs Restringido. El nivel de consumo aplicado en los animales restringidos fue de, aproximadamente, el 60% de *ad libitum* en P1 y P2, y el 80% en P3.

Cada tratamiento experimental se replicó seis veces, siendo la unidad experimental el animal.



Foto 3.1. Cerdos alojados en corrales en la nave experimental

Tabla 3.1. Ingredientes y composición estimada de la dieta experimental (en % de materia fresca, a menos que se indique otra unidad).

Ingredientes	
Trigo Blando	38,0
Maíz Nacional	27,2
Cebada 2 carreras	1,4
Harina de Soja 44%PB	13,14
Harina de Colza 00	12,0
Harina de Girasol 36%PB	3,0
Grasa Mezcla	3,0
Carbonato Cálcico	1,1
Cloruro Sódico	0,34
Fosfato Bicálcico	0,32
L-Lisina HCL	0,2
Corrector*	0,3
Nutrientes	
Energía metabolizable, kcal/kg	3240
Materia seca	88,5
Proteína bruta	18,1
Fibra bruta	4,7
Fibra neutro detergente	12,5
Almidón	40,5
Extracto etéreo	5,2
Lisina total	1,0
C18:2	1,14
Calcio total	0,65
Fósforo total	0,52
Fósforo digestible	0,24

*Composición para un kilogramo de dieta completa: 6.000 UI acetato de retinol; 1.200 UI colecalciferol; 11 UI all-rac- α -tocoferilo acetato; 0,5 mg menadiona (complejo menadiona bisulfito de sodio); 0,2 mg tiamina (mononitrato de tiamina); 2,5 mg riboflavina; 0,2 mg piridoxina (piridoxinaHCl); 15 g cianocobalamina; 8 mg D- acidopantotenico (DL-pantotenato de calcio); 15 mg niacina; 350 mg colina; 16 mg Cu (sulfato de cobre); 75 mg Fe (sulfato de hierro); 40 mg Mn (óxido de manganeso); 110 mg Zn (óxido de zinc); 0,1 mg Co (sulfato de cobalto); 0,3 mg Se (selenito de sodio); y 0,8 mg I (yodato de calcio).

3.2. Instalaciones experimentales

Durante todo el experimento, los cerdos permanecieron en las instalaciones del Servicio de Apoyo a la Investigación (SAI), ubicadas en la Facultad de Veterinaria de la Universidad de Zaragoza. Los animales fueron alojados en una nave que disponía de 20 corrales individuales (1,5 m x 1,5 m), provistos de bebedero tipo chupete, comedero y suelo tipo slat (Foto 3.2). Asimismo, la nave contaba con 12 jaulas metabólicas (Foto 3.3) provistas de suelo de chapa perforada (2 cm de diámetro), bandeja para recolección de heces, bebedero tipo chupete y comedero.



Foto 3.2. Corrales y Suelo



Foto 3.3. A) Jaula metabólica, B) Cinto, cadena, chupete y suelo, C) Comedero

3.3. Manejo experimental

Tras su llegada a las instalaciones experimentales, los cerdos disfrutaron de dos días de descanso en los corrales y a continuación se trasladaron a las jaulas de metabolismo en las que permanecieron durante un periodo de adaptación de cinco días. Durante este periodo se controló el consumo individual *ad libitum* de cada animal, para poder aplicar a continuación la restricción deseada.

Posteriormente se llevó a cabo un balance de digestibilidad de siete días (P1), durante el que se estudió la recuperación fecal de los alcanos internos del alimento. Para ello, diariamente, se tomaron muestras de pienso y se registraron individualmente los aportes de alimento y los residuos del mismo. Asimismo, también de forma diaria, se recolectaron las heces individualmente y, tras su pesaje, se desecaron a 60°C durante 48 h. Tanto las muestras de alimento como los residuos del mismo y las heces secas de cada día fueron agrupados en una muestra única por individuo al final del periodo de

balance. De cada muestra agrupada de alimento y residuo, la mitad fue desecada a 104°C durante 24 h para determinar el contenido en MS y la otra mitad, junto con las muestras de heces totales, fue molida en un molino de martillos provisto de criba de 1 mm, conservándose en botes de plástico a temperatura ambiente hasta su posterior análisis.

Tras el primer balance de digestibilidad, los animales tuvieron un periodo de descanso de siete días en los corrales y, a continuación, volvieron a ser introducidos en las jaulas de metabolismo para llevar a cabo otro estudio (P2) sobre la recuperación de algunos *n*-alcanos dosificados (C₂₄, C₂₈ (octacosano), C₃₂ y C₃₆). Para ello, los alkanos se suministraron una vez al día (a las 9:30 h) en forma de caramelos sobre una base de fructosa calentada a 103°C (Foto 3.4), de forma que cada animal recibió 100 mg de C₂₄ y C₃₂, y 150 mg de C₂₈ y C₃₆. Esta forma de presentación aseguró la ingestión íntegra de los alkanos objeto de estudio. Para conseguir el acostumbramiento de los animales a los caramelos, la administración de los mismos comenzó nada más finalizar el primer balance de digestibilidad. El protocolo seguido durante el segundo estudio, en cuanto a recogida de datos y muestras, fue el mismo que durante el primero.



Foto 3.4. Elaboración de los caramelos con alkanos

Además, durante este periodo se tomaron muestras puntuales de heces del recto de cada animal dos veces al día (Foto 3.5): por la mañana, al mismo tiempo que la dosificación de los alkanos (9:30 h), y por la tarde (a las 18:00 h). Estas muestras fueron congeladas a -20°C inmediatamente después de su toma. Posteriormente, se descongelaron y agruparon por animal y hora, se liofilizaron, se molieron a 1 mm, contabilizándose su peso en MS para estimar la digestibilidad, y se conservaron hasta su análisis.



Foto 3.5.Toma de muestras de heces de recto

Tras el preceptivo periodo de descanso de los cerdos (14 días), volvió a repetirse el estudio de recuperación de alcanos dosificados (P3), siguiendo las mismas pautas que en el anterior, excepto que la dosificación de los alcanos en forma de caramelos fue dos veces al día: por la mañana y por la tarde, a las mismas horas que las tomas de muestras puntuales de heces (9:30 y 18:00 h, respectivamente).

3.4. Análisis laboratorial

Todos los análisis se realizaron, por duplicado, en los laboratorios de la Unidad de Nutrición Animal de la Facultad de Veterinaria de Zaragoza.

De acuerdo con los procedimientos AOAC (2005), de todas las muestras de pienso se determinó el contenido en MS por desecación en estufa a 104°C durante 48 h (930.15), en materia orgánica (MO) y cenizas mediante incineración en horno mufla a 550°C durante 8 h (942.05), en proteína bruta (PB) por el método Kjeldahl, usando un equipo MT 2300 Analyzer Unit (984.13) y en extracto etéreo (EE) utilizando un equipo Ankom^{XT15} (920.39). El análisis de fibra bruta (FB), FND, FAD y LAD se llevó a cabo utilizando un equipo Ankom²⁰⁰. De los piensos también se analizó el contenido en CIDA, cenizas residuales de la determinación de FAD y en *n*-alcanos.

En las muestras agrupadas de residuos de pienso y de heces totales se determinó MS, MO, PB y FND, tal y como se ha descrito anteriormente. Además, en las muestras de heces, tanto totales como puntuales (tomadas del recto), se analizaron las CIDA y los *n*-alcanos. La decisión de analizar CIDA, en lugar de AIA, se tomó por la mejor recuperación del sílice en las primeras (Van Soest, 1994a).

Para la determinación de los *n*-alcanos se partió de 0,5 g de muestra y se añadieron 100 mg de patrón interno (solución de heptano con 1mg/g de C₂₂ y C₃₄). La extracción

se realizó siguiendo la técnica descrita por Keli et al. (2008b). El análisis se realizó mediante un cromatógrafo de gases Agilent 6890 equipado con un inyector automático, un detector de ionización de llama y una columna capilar HP-1 de 30 mm x 0,530 mm x 1,5 μm de espesor, inyectando 0,2 μl de muestra. El gas portador fue helio (10 mL/min), al igual que para el *make up* del detector (45 mL/min). El inyector fue programado en modo “track oven” con el programa de temperaturas siguiente: 230°C durante 0,2 min y una rampa de 6°C/min hasta 300°C, temperatura que se mantuvo durante 18 min. El tiempo de equilibrio se fijó en 5 min. El detector se mantuvo a 350°C durante todo el proceso. Los datos del área de los picos fueron procesados usando el programa HP ChemStation (versión A.08.03). El factor de respuesta del detector para los *n*-alcanos individuales fue determinado mediante la inyección, tras cada ocho muestras, de un patrón estándar que contenía una mezcla de *n*-alcanos (C₂₁-C₃₆ incluidos).

3.5. Procedimientos de cálculo

3.5.1. Obtención de las concentraciones de *n*-alcanos de las muestras

Las concentraciones de C₂₂ y C₃₄ en el patrón interno se suponen iguales. Por lo tanto, las posibles discrepancias se atribuirían a variaciones del cromatógrafo. Considerando este aspecto, la corrección de las áreas de los picos se desarrolló tal y como se detalla a continuación:

Condiciones ideales:

$$\text{Muestra} \begin{bmatrix} \frac{\text{Área } C_{22}}{\text{Peso } C_{22}} \\ \frac{\text{Área } C_{34}}{\text{Peso } C_{34}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\text{Área } C_{22}}{\text{Peso } C_{22}} \\ \frac{\text{Área } C_{34}}{\text{Peso } C_{34}} \end{bmatrix} \text{Patrón Interno}$$

Por lo tanto:

$$\frac{FR_{\text{muestra } C_{22}} * FR_{\text{patrón interno } C_{34}}}{FR_{\text{muestra } C_{34}} * FR_{\text{patrón interno } C_{34}}} = 1$$

Donde FR= Factor de respuesta.

De aquí se obtiene:

$$\frac{FR_{muestra} C_{22} * FR_{patrón interno} C_{34}}{FR_{muestra} C_{34} * FR_{patrón interno} C_{34}} = \frac{FR_{muestra} C_{34}}{FR_{muestra} C_{34}}$$

Y

$$\frac{FR_{muestra} C_{22} * \frac{FR_{patrón interno} C_{34}}{FR_{patrón interno} C_{22}}}{FR_{muestra} C_{34}} - \frac{FR_{muestra} C_{34}}{FR_{muestra} C_{34}} = 0$$

Finalmente

$$\frac{FR_{muestra} C_{22} * \frac{FR_{patrón interno} C_{34}}{FR_{patrón interno} C_{22}} - FR_{muestra} C_{34}}{FR_{muestra} C_{34}} = 0$$

En condiciones no ideales siempre aparecen diferencias entre las áreas de los picos de C_{22} y C_{34} , razón por la que difícilmente la ecuación anterior se iguala a cero. Asumiendo que la diferencia entre las áreas no corregidas y las corregidas (en porcentaje) evoluciona linealmente en función de la longitud de la cadena de carbonos de los alcanos, el factor de corrección (FC, en %) aplicado a cada n -alcano puede calcularse de la siguiente manera:

$$FC = \frac{FR_{muestra} C_{22} * \frac{FR_{patrón interno} C_{34}}{FR_{patrón interno} C_{22}} - FR_{muestra} C_{34}}{FR_{muestra} C_{34}} * \frac{100}{12}$$

En el presente ensayo se tomó la decisión de descartar las muestras en las que el factor de corrección fue superior al 1%, repitiéndose el análisis.

Una vez que las áreas han sido corregidas, la concentración de *n*-alcanos se calcula siguiendo los procedimientos convencionales:

$$\text{Muestra} \begin{bmatrix} \frac{A C_i}{P C_i} \\ \frac{A C_{22}}{P C_{22}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{A C_i}{P C_i} \\ \frac{A C_{22}}{P C_{22}} \end{bmatrix} \text{Patrón}$$

Y

$$\begin{aligned} A C_{i_{\text{muestra}}} * A C_{22_{\text{patrón}}} * P C_{i_{\text{patrón}}} * P C_{22_{\text{muestra}}} \\ = A C_{i_{\text{patrón}}} * A C_{22_{\text{muestra}}} * P C_{i_{\text{muestra}}} * P C_{22_{\text{patrón}}} \end{aligned}$$

Donde:

A = área

P = peso

C_i = *n*-alcano de i carbonos

De aquí, la cantidad de *n*-alcano C_i en la muestra (PC_i) puede ser calculada como:

$$P C_{i_{\text{muestra}}} = \frac{A C_{i_{\text{muestra}}} * A C_{22_{\text{patrón}}} * P C_{i_{\text{patrón}}} * P C_{22_{\text{muestra}}}}{A C_{i_{\text{patrón}}} * A C_{22_{\text{muestra}}} * P C_{22_{\text{patrón}}}}$$

Como la relación A C₂₂_{patrón}/P C₂₂_{patrón} es conocida, así como el Factor de Respuesta (FR) del alcano C₂₂, y la relación P C_i_{patrón interno}/A C₂₂_{patrón} es la inversa del FR del alcano C_i, la ecuación anterior puede ser re-escrita como:

$$P C_{i_{\text{muestra}}} = \frac{P C_{22_{\text{muestra}}}}{A C_{22_{\text{muestra}}}} * A C_{i_{\text{muestra}}} * \frac{FR C_{22}}{FR C_i}$$

El resultado es dividido por el peso de la muestra (en MS) para obtener la concentración.

Un cálculo idéntico puede realizarse con el patrón C_{34} , debiéndose obtener el mismo resultado, ya que se trabaja con áreas corregidas. Caso de no ser así, debe investigarse la razón de la discrepancia.

3.5.2. Cálculo de la recuperación fecal individual de los *n*-alcanos naturales

La recuperación individual en heces (RH) de los *n*-alcanos naturales (como proporción de lo ingerido), en los tres períodos experimentales, fue calculada de la siguiente forma:

$$RH_i = \left(\frac{Cnt_{H_i}}{Cnt_{I_i}} \right) * 100$$

Donde:

i = *n*-alcano

RH = recuperación en heces

Cnt_H = cantidad de alcano excretado en heces

Cnt_{I_i} = cantidad de alcano ingerido

La cantidad de *n*-alcanos en las heces (Cnt_{H_i}) se calculó como sigue:

$$Cnt_{H_i} = HP * C_i$$

Donde:

i = *n*-alcano

HP = heces producidas (en MS)

C_i = concentración de *n*-alcano en las heces

La cantidad de *n*-alcanos en el pienso ingerido (Cnt_{I_i}) se calculó así:

$$Cnt_{Ii} = (P * C_{I_i}) - (R * C_{R_i})$$

Donde:

i = *n*-alcano

P = pienso ofrecido, en MS

C_I = concentración de *n*-alcano en el pienso

R = cantidad de residuo de pienso, en MS

C_R = concentración de *n*-alcanos en los residuos

3.5.3. Cálculo de la recuperación fecal de los *n*-alcanos dosificados

En principio, se pretendió utilizar las recuperaciones fecales de los *n*-alcanos naturales C_{24} , C_{28} , C_{32} y C_{36} obtenidas en el primer periodo (P1) para poder estimar las recuperaciones fecales de los alkanos C_{24} , C_{28} , C_{32} y C_{36} dosificados en el segundo (P2) y tercer (P3) periodos. Sin embargo, las recuperaciones obtenidas en el P1 no fueron satisfactorias, por las razones que más adelante se indicarán, por lo que las recuperaciones de los *n*-alcanos naturales C_{24} , C_{28} , C_{32} y C_{36} fueron obtenidas mediante interpolación en la función obtenida para las recuperaciones de los alkanos naturales (excluyendo C_{24} , C_{28} , C_{32} y C_{36}) obtenidas en los periodos P2 y P3.

La función que mejor describió la recuperación fecal de los alkanos naturales en función de su longitud de cadena en los periodos 2 y 3 fue una polinomial de sexto orden (Figura 3.1).

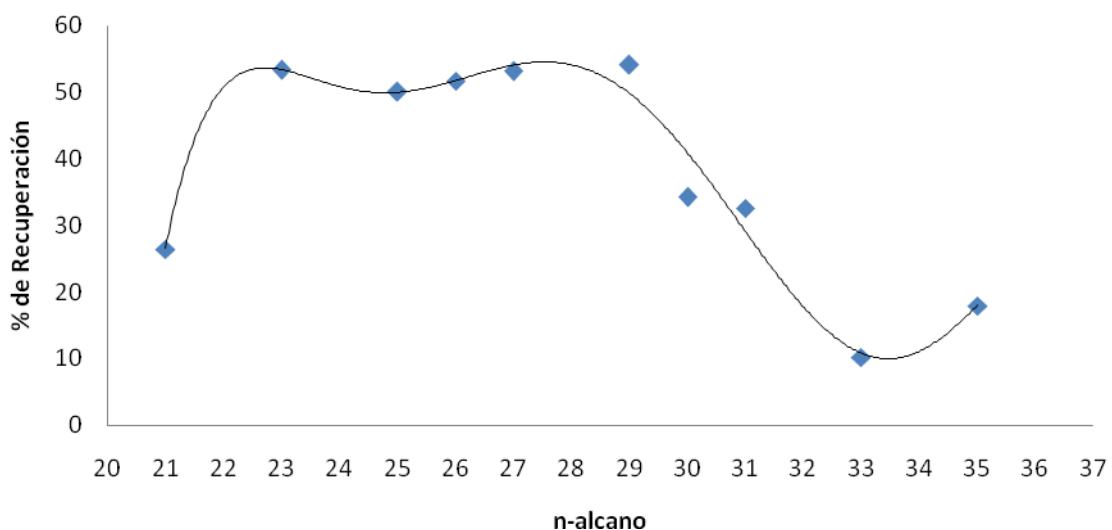


Figura 3.1. Evolución de la recuperación fecal de los *n*-alcanos naturales en función de su longitud de cadena

Como se puede observar, para la obtención de estas funciones no se tuvieron en cuenta los alkanos C_{22} y C_{34} (constituyentes del patrón interno), ni los C_{24} , C_{28} , C_{32} y C_{36} (alcanos dosificados). Una vez estimada la recuperación de los *n*-alcanos naturales C_{24} , C_{28} , C_{32} y C_{36} mediante extrapolación, la recuperación de los de los *n*-alcanos C_{24} , C_{28} , C_{32} y C_{36} dosificados se estimó de la siguiente manera:

$$RecAd_i = Ad_{Hx_i} / DAd_i$$

Donde:

$i = n$ -alcano

$RecAd_i$ = Recuperación de alcano externo

Ad_{Hx_i} = Alcano dosificado en heces de origen externo

DAd_i = Dosis total de alcano

El alcano en heces de origen externo (Ad_{Hx_i}) se calculó como:

$$Ad_{Hx_i} = iH - iH_p$$

Donde:

iH = *n*-alcano en Heces

iH_p = *n*-alcano en Heces procedente del pienso

El alcano en heces (iH) fue calculado como:

$$iH = Pr_H * Ci$$

Donde:

Pr_H = Producción de MS fecal

Ci = Concentración de *n*-alcano

y el alcano en heces procedente del alimento (iH_p) como:

$$iH_p = P_c * Ci_p * Rec_{ip}$$

Donde:

P_c = Pienso consumido

Ci_p = Concentración de *n*-alcano en pienso

Rec_{ip} = Recuperación estimada en heces del alcano del pienso

3.5.4. Cálculo de la ingestión utilizando pares de alkanos naturales y dosificados en heces totales

Se plantearon tres ecuaciones diferentes para calcular la ingestión (I), a las que se denominó “casos” y que se describen a continuación:

Caso 1

Se parte de la premisa de que la recuperación fecal de los alkanos dosificados es igual a la de los alkanos naturales adyacentes, por lo que no se considera la recuperación para el cálculo de la ingestión. Por lo tanto:

$$I = \frac{Al_D}{\left[\left(\frac{C_{F_D}}{C_{F_N}} \right) * C_{I_N} \right] - C_{I_D}}$$

Donde:

Al_D = cantidad de alcano dosificado

C_{FD} = concentración fecal del alcano dosificado

C_{FN} = concentración Fecal del alcano natural

C_{IN} = concentración en el pienso del alcano natural

C_{ID} = concentración en el pienso del alcano dosificado

Caso 2

Se parte de la premisa de que la recuperación de los alcanos dosificados no es igual a la de los adyacentes. Por lo tanto (Dove y Mayes, 2005):

$$I = \frac{Al_D}{\left[\left(\frac{C_{FD}/Rec_N}{C_{FN}/Rec_D} \right) * C_{IN} \right] - C_{ID}}$$

Donde:

Al_D = cantidad de alcano dosificado

C_{FD} = concentración fecal del alcano dosificado

C_{FN} = concentración Fecal del alcano natural

C_{IN} = concentración en el pienso del alcano natural

C_{ID} = concentración en el pienso del alcano dosificado

Rec_N = recuperación de alcano natural

Rec_D = recuperación de alcano dosificado

En este caso se utilizan las recuperaciones individuales de cada alcano en cada animal

Caso 3

En este caso se utiliza la recuperación fecal media de cada alcano de los animales sometidos a cada plano de alimentación en cada periodo. Por lo tanto:

$$I = \frac{Al_D}{\left[\left(\frac{C_{FD}/RecM_N}{C_{FN}/RecM_D} \right) * C_{IN} \right] - C_{ID}}$$

Donde:

A_{ID} = cantidad de alcano dosificado

C_{FD} = concentración fecal del alcano dosificado

C_{FN} = concentración Fecal del alcano natural

C_{IN} = concentración en el pienso del alcano natural

C_{ID} = concentración en el pienso del alcano dosificado

$RecM_N$ = recuperación media del alcano natural

$RecM_D$ = recuperación media del alcano dosificado

3.5.5. Cálculo de la ingestión utilizando la concentración de pares de alcanos naturales y dosificados en heces puntuales

A partir de las estimaciones de ingestión con las diferentes parejas de alcanos (23/24, 24/25, 27/28, 28/29, 31/32, 32/33 y 35/36), y los diferentes casos, se eligieron las parejas y casos que mejor estimaron el valor obtenido *in vivo*. Con estas parejas se estimó la ingestión a partir de las concentraciones en muestras de heces puntuales, considerando a su vez tres situaciones: utilizando las concentraciones de las muestras de heces de la mañana, las de las muestras de la tarde o la media de ambas.

3.5.6. Cálculo de la digestibilidad utilizando la concentración de alcanos naturales en heces totales

Para el cálculo de la digestibilidad (D) utilizando los valores de las concentraciones en heces totales se consideraron igualmente tres casos:

Caso 1

No se emplea la recuperación fecal del alcano empleado, de manera que:

$$D = 1 - (C_{Pi}/C_{Hi})$$

Donde:

D = digestibilidad

C_{Pi} = concentración del alcano natural en el pienso

C_{Hi} = concentración del alcano natural en las heces

Caso 2

Se emplea la recuperación fecal individual del alcano empleado, de manera que:

$$D = 1 - \left(\frac{CPi}{\left(\frac{Chi}{Reci} \right) / 100} \right)$$

Donde:

D = digestibilidad

CPi = concentración del alcano natural en pienso

Chi = concentración del alcano natural en heces

Reci = recuperación fecal del alcano natural

Caso 3

Se emplea la recuperación fecal media de cada alcano de los animales sometidos a cada plano de alimentación en cada periodo..

$$D = 1 - \left(\frac{CPi}{\left(\frac{Chi}{MedReci} \right) / 100} \right)$$

Donde:

D = digestibilidad

CPi = concentración del alcano natural en el pienso

Chi = concentración del alcano natural en las heces

MedReci = recuperación media del alcano natural

3.5.7. Cálculo de la digestibilidad utilizando la concentración de alkanos naturales en heces puntuales

A partir de las estimaciones de digestibilidad calculadas con las concentraciones de los diferentes alkanos naturales en las heces totales ($C_{21}, C_{23}, C_{25}, C_{26}, C_{27}, C_{29}, C_{30}, C_{31}, C_{33}, C_{35}$) se eligieron los hidrocarburos que mejores estimaciones ofrecieron del valor *in vivo*. Con ellos se estimó la digestibilidad a partir de las concentraciones en heces puntuales, considerando el tiempo en el que fueron tomadas las muestras (mañana, tarde y valor medio de ambas).

3.6. Análisis Estadístico

El efecto del plano de alimentación, el periodo experimental y el animal dentro del plano sobre la ingestión, digestibilidad y recuperación fecal *in vivo* de los diferentes *n*-alkanos fue analizado de forma factorial, de acuerdo con el siguiente modelo:

$$y = \mu + D_i + P_j + DP_{ij} + A(D)_{k(i)} + \varepsilon_{l(ijk)}$$

Donde D_i representa el efecto del plano de alimentación, P_j el efecto del periodo experimental, DP_{ij} la interacción entre ambos, $A(D)_{k(i)}$ el efecto del cerdo dentro del plano, y $\varepsilon_{l(ijk)}$ el error experimental. Los cálculos fueron realizados con el programa estadístico SAS (versión 9.2), y utilizando el procedimiento PROC GLM. El efecto animal fue considerado aleatorio, y todos los demás fijos. Los contrastes entre los valores medios fueron realizados usando el test de Tukey, excepto cuando había valores perdidos, donde fue utilizado el test de Scheffe.

El efecto de las diferentes formas de estimación de la ingestión y digestibilidad (utilizando diferentes alkanos y los diferentes “casos”, tanto con las muestras de colección total de heces como con las muestras puntuales) se analizó como un análisis factorial Split-plot, de acuerdo con el siguiente modelo:

$$y = \mu + D_i + P_j + DP_{ij} + A(D)_{k(i)} + E_l + DE_{il} + PE_{jl} + DPE_{ijl} + A(D)E_{k(i)l} + \varepsilon_{m(ijkl)}$$

Donde D_i , P_j , DP_{ij} , $A(D)_{k(i)}$ y $\varepsilon_{m(ijkl)}$ representan los mismos efectos que en el caso anterior, E_l representa el efecto de la forma de estimación, y DE_{il} , PE_{jl} y $A(D)E_{k(i)l}$ su interacción con el plano de alimentación, el periodo experimental y el animal,

respectivamente. El efecto DPE_{ijl} representa la interacción triple entre el plano de alimentación, el periodo experimental y la forma de estimación. Al igual que en el caso anterior, el efecto animal fue considerado aleatorio. Para el análisis estadístico se empleó el procedimiento GLM del paquete SAS (versión 9.2). Los efectos del plano de alimentación, del periodo experimental y de la interacción entre ambos fueron contrastados con el efecto animal, y todos los demás efectos frente al error experimental. Los contrastes entre los valores medios fueron realizados usando el test de Tukey, excepto cuando había valores perdidos, donde fue utilizado el test de Scheffe.

4. Resultados

4.1. Composición química de los piensos experimentales

La Tabla 4.1 muestra la composición química de los piensos utilizados en los tres periodos experimentales, incluyendo la concentración en *n*-alcanos. Los datos analíticos coincidieron prácticamente con los esperados (Tabla 3.1).

Tabla 4.1. Composición química de los piensos utilizados en el presente experimento (Periodo 1: cerdos de $44,9 \pm 0,78$ kg y 15 semanas de edad; Periodo 2: cerdos de $61,7 \pm 0,87$ kg y 17 semanas de edad; Periodo 3: cerdos de $77,1 \pm 1,39$ kg y 20 semanas de edad).

	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3
Materia seca (MS; %)	89,76	88,57	89,13
Materia orgánica (% de la MS)	95,11	95,16	95,07
Proteína bruta (% de la MS)	20,23	20,9	20,35
Extracto etéreo (% de la MS)	5,43	5,54	5,06
Fibra bruta (% de la MS)	4,66	4,07	3,43
Fibra neutro detergente (% de la MS)	14,82	16,29	14,29
Fibra ácido detergente (% de la MS)	6,65	6,59	6,58
Lignina ácido detergente (% de la MS)	1,51	1,19	1,27
Alcanos (mg/kg MS)			
C ₂₁	0,53	0,86	0,98
C ₂₃	2,31	1,33	1,00
C ₂₄	2,93	2,86	9,69
C ₂₅	4,54	4,08	5,78
C ₂₆	4,21	1,50	3,24
C ₂₇	8,81	4,63	7,37
C ₂₈	8,62	1,81	3,96
C ₂₉	20,4	6,86	9,07
C ₃₀	18,6	2,27	2,27
C ₃₁	31,5	8,65	8,87
C ₃₂	30,1	3,17	6,85
C ₃₃	27,9	12,06	5,82
C ₃₅	21,1	2,86	3,89
C ₃₆	19,0	0,42	6,64

4.2. Estimación de la ingestión y digestibilidad in vivo

En la Tabla 4.2 se presentan los valores de ingestión de materia seca (IMS) y de digestibilidad de la materia seca (DMS), materia orgánica (DMO), proteína bruta (DPB) y fibra neutro detergente (DFND) obtenidos en los periodos uno, dos y tres del experimento (cerdos de 44,9, 61,7 y 77,1 kg, y 15, 17 y 20 semanas de edad, respectivamente). También se incluye la recuperación fecal de las CIDA.

Tabla 4.2. Ingestión de materia seca (IMS), digestibilidad de la materia seca (DMS), materia orgánica (DMO), proteína bruta (DPB) y fibra neutro detergente (DFND), y recuperación fecal de las cenizas insolubles en detergente ácido (REC. CIDA) obtenidas *in vivo* en cerdos en tres períodos de crecimiento ($44,9 \pm 0,78$ kg y 15 semanas de edad (P1); $61,7 \pm 0,87$ kg y 17 semanas de edad (P2); y $77,1 \pm 1,39$ kg y 20 semanas de edad (P3)) y sometidos a dos planos de alimentación (*ad libitum* y restringido)

Plano (T)	<i>Ad libitum</i>			Restringido			EEM	P			
	Periodo (P)	P1	P2	P3	P1	P2	P3	T	P	T*P	
IMS (g/dia)		1403 ^B a	2081 ^B b	2564 ^B c	853 ^A a	1293 ^A b	2051 ^A c	53,257	<0,0001	<0,0001	0,0381
DMS (%)		83,11	84,58	83,86	83,50	84,02	84,96	0,473	0,4478	0,0722	0,2374
DMO (%)		84,48	86,14	85,44	84,88	85,65	86,58	0,432	0,3468	0,0149	0,1966
DPB (%)		81,83	84,70	83,85	82,28	84,82	85,54	0,685	0,2052	0,0016	0,4989
DFND (%)		48,14	58,66	53,24	48,80	53,65	54,22	1,816	0,4691	0,0022	0,2115
REC. CIDA (%)		52,94	59,18	59,26	41,74	61,37	63,39	3,582	0,8366	0,0012	0,0632

EEM: error estándar de la media del análisis de varianza (n=6).

P: probabilidad de las diferencias.

a,b Medias con diferentes letras minúsculas de subíndice en la misma fila son significativamente diferentes ($P<0,05$) entre períodos dentro del plano de alimentación.

A,B Medias con diferentes letras mayúsculas de superíndice en la misma fila son significativamente diferentes ($P<0,05$) entre planos de alimentación para cada período.

Como se esperaba, la ingestión de los cerdos aumentó con la edad, y fue superior para los animales alimentados *ad libitum*. En cuanto a las digestibilidades, sólo existieron diferencias significativas entre períodos (excepto para la DMS), con valores inferiores en P1 y sin diferencias entre P2 y P3. En el caso de la recuperación fecal de las CIDA, la tendencia se mantuvo, con menores valores en el P1 (47,3%) y sin diferencias entre los otros dos períodos (60,3% y 61,32% para P2 y P3, respectivamente).

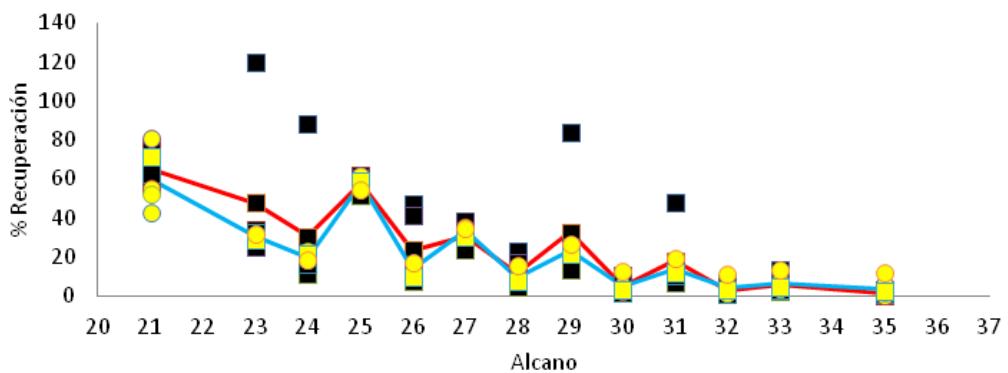
4.3. Recuperación fecal de los *n*-alcanos naturales

Las recuperaciones fecales de los *n*-alcanos naturales para los periodos 1, 2 y 3 se pueden observar en la Figura 4.1 (a, b y c, respectivamente). Las recuperaciones obtenidas en el P1 fueron consideradas no satisfactorias debido a que no seguían la pauta esperada, por lo que los resultados de recuperación fecal de *n*-alcanos de este periodo no fueron tenidos en consideración.

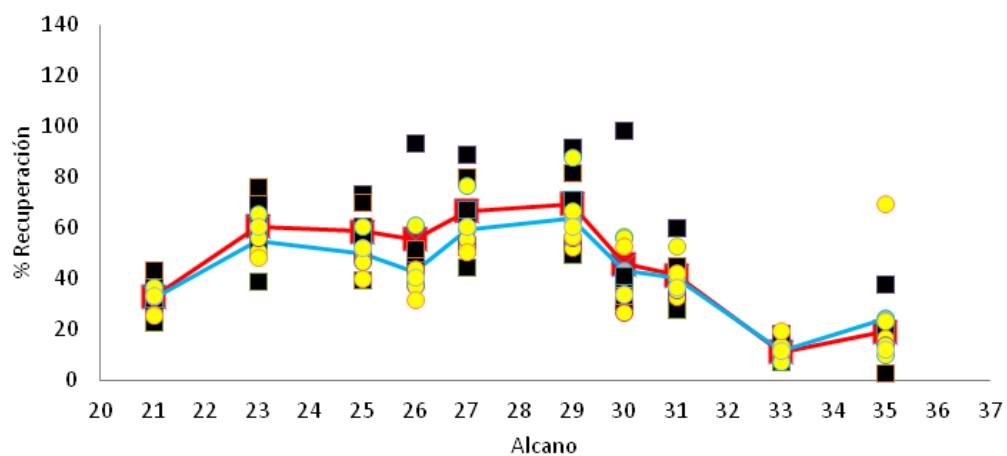
Las recuperaciones obtenidas en los periodos 2 y 3 siguieron una evolución curvilínea, siendo los alkanos que presentaron las recuperaciones más elevadas el tricosano (C_{23} ; 60%, 55%, 78% y 72% para el P2 en animales alimentados *ad libitum* o restringidos, y para el P3 en las mismas condiciones, respectivamente), pentacosano (C_{25} , 58%, 50%, 40% y 39%), C_{27} (66%, 59%, 44% y 42%) y C_{29} (69%, 63%, 55% y 53%).

La evolución de la IMS durante los tres periodos de balance se presenta en la Figura 4.2 (a, b y c, respectivamente), observándose que durante el primero de ellos la variabilidad entre días fue muy elevada, lo que no ocurrió a edades superiores de los animales. En el segundo periodo, la ingestión tuvo un comportamiento estable, situándose en 2,08 kg MS/día para los cerdos alimentados *ad libitum* y en 1,29 kg MS/día (62% de *ad libitum*) para los alimentados a un plano restringido. Tampoco hubo variación entre días en la ingestión durante el P3, con valores medios de 2,5 kg MS/día en los alimentados *ad libitum* y 2,05 kg MS/día (82% de *ad libitum*) en los animales restringidos.

a)



b)



c)

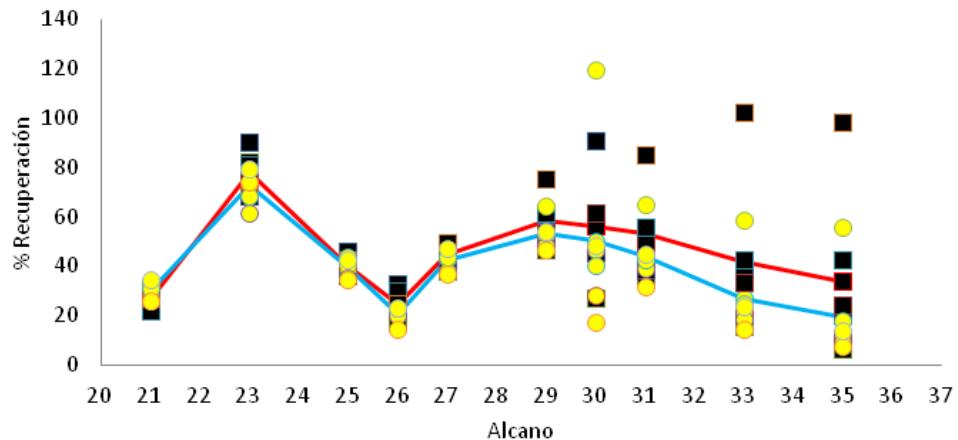


Figura 4.1. Recuperación fecal de los *n*-alcanos naturales en cerdos de $44,9 \pm 0,78$ kg y 15 semanas de edad (a), $61,7 \pm 0,87$ kg y 17 semanas de edad (b), y $77,1 \pm 1,39$ kg y 20 semanas de edad (c), alimentados *ad libitum* (●, —) o a un plano de alimentación restringido (■, —).

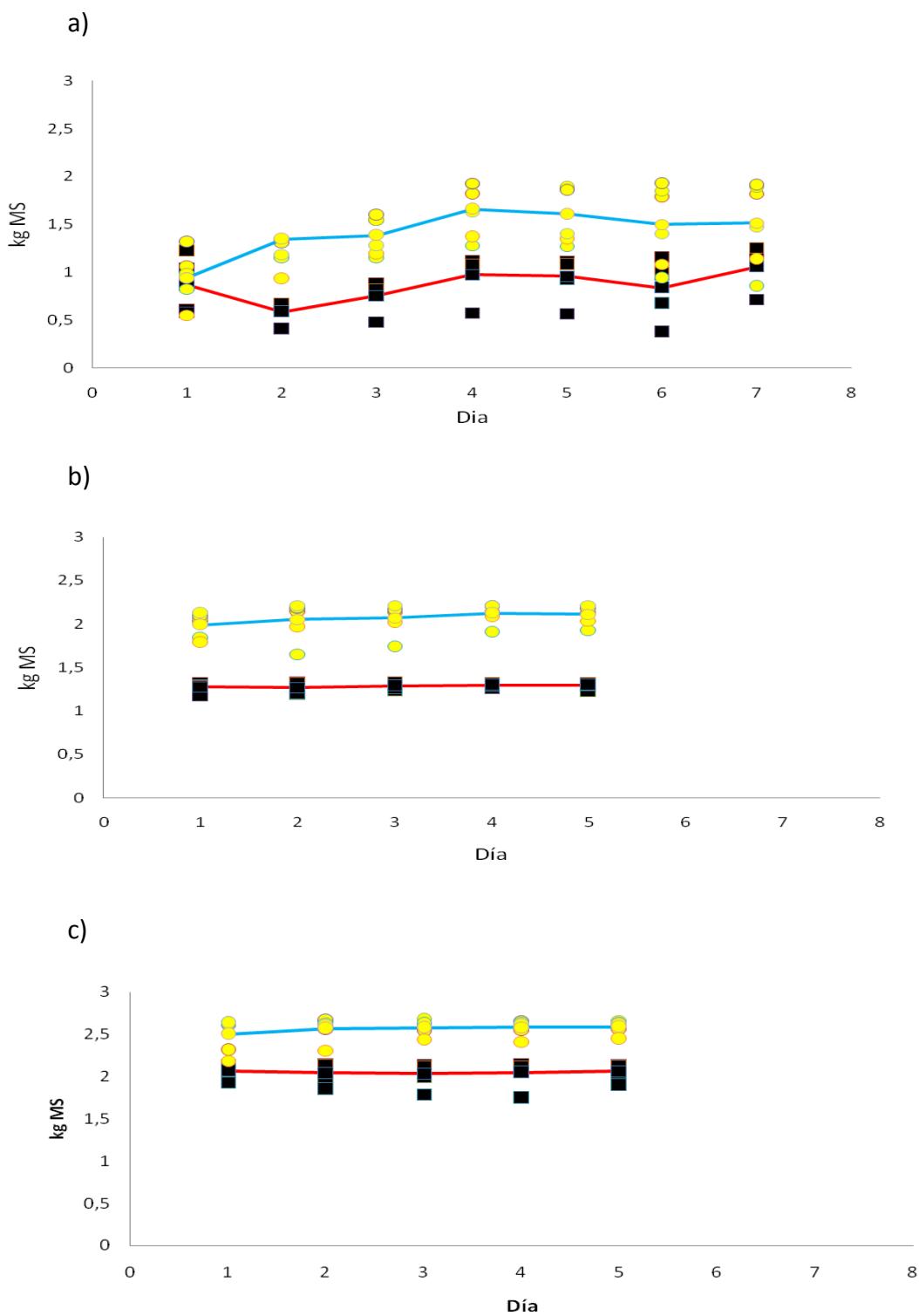


Figura 4.2. Evolución de la ingestión de materia seca (MS; kg/día) durante períodos de siete días en cerdos de $44,9 \pm 0,78$ kg y 15 semanas de edad (a), $61,7 \pm 0,87$ kg y 17 semanas de edad (b), y $77,1 \pm 1,39$ kg y 20 semanas de edad (c), alimentados *ad libitum* (●, —) o a un plano de alimentación restringido (■, —).

4.4. Recuperación fecal de los *n*-alcanos dosificados

En la Figura 4.3 se presenta la evolución de la recuperación fecal estimada de los alkanos dosificados en los períodos 2 (a) y 3 (b).

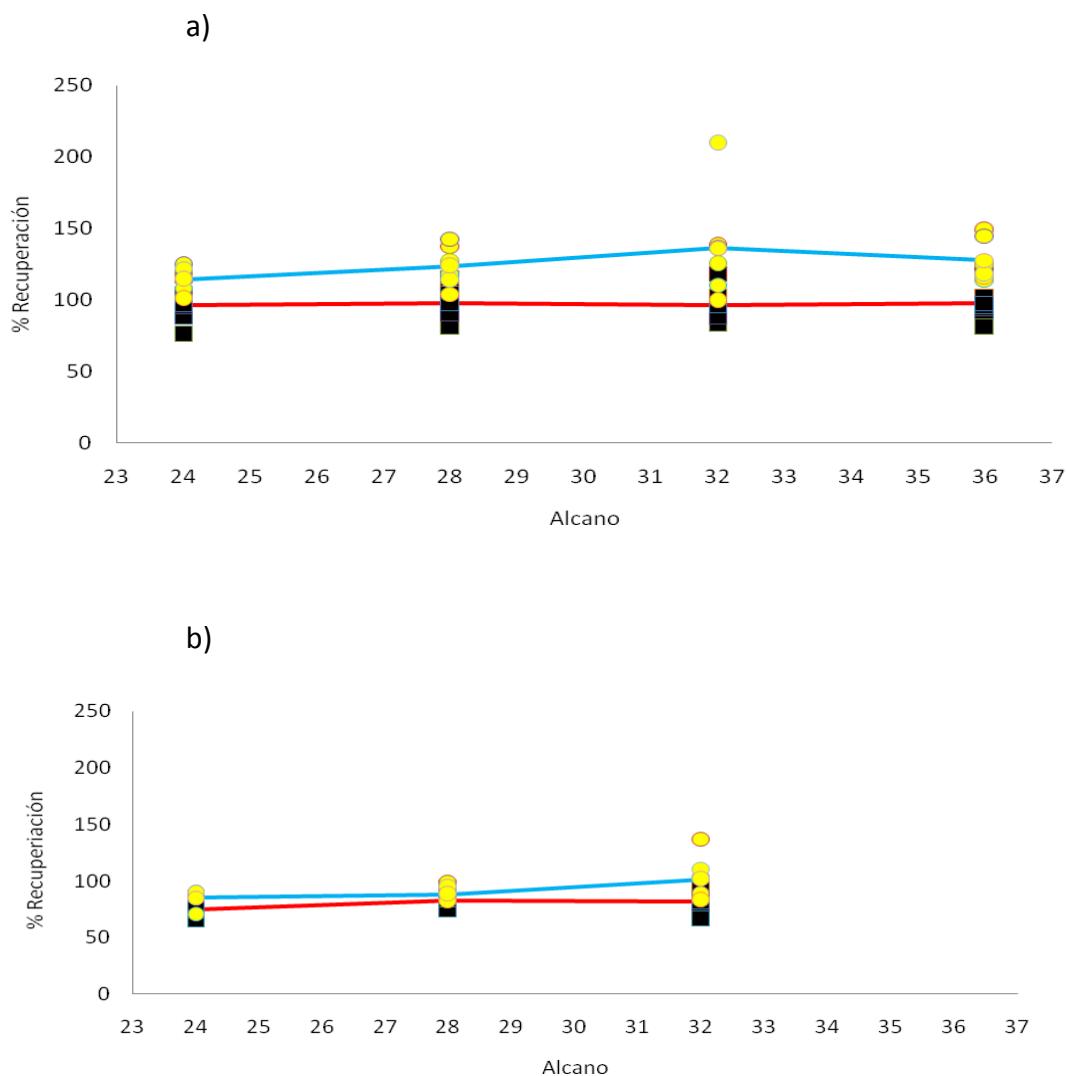


Figura 4.3. Recuperación fecal estimada de los alkanos tetracosano (C_{24}), octacosano (C_{28}), dotriacantano (C_{32}) y hexatriacantano (C_{36}) administrados a cerdos de $61,7 \pm 0,87$ kg y 17 semanas de edad (a), y $77,1 \pm 1,39$ kg y 20 semanas de edad (b), alimentados *ad libitum* (●, —) o a un plano de alimentación restringido (■, —).

La estimación de la recuperación fecal del alcano natural C_{36} por interpolación (ver Material y Métodos) no fue adecuada en el período 3, por lo que no se ofrecen datos de recuperación fecal del C_{36} dosificado para los animales de esta edad.

Las recuperaciones medias estimadas se presentan en la Tabla 4.3, observándose valores próximos o superiores al 100%, con variaciones importantes entre alkanos, planos de alimentación o edades de los cerdos.

Tabla 4.3. Recuperación fecal estimada (%) de los alkanos tetracosano (C_{24}), octacosano (C_{28}), dotriacantano (C_{32}) y hexatriacantano (C_{36}) administrados a cerdos de $61,7 \pm 0,87$ kg y 17 semanas de edad (Periodo 2), y $77,1 \pm 1,39$ kg y 20 semanas de edad (Periodo 3), alimentados *ad libitum* o a un plano de alimentación restringido.

	Periodo 2				Periodo 3		
	C_{24}	C_{28}	C_{32}	C_{36}	C_{24}	C_{28}	C_{32}
<i>Ad libitum</i>	114,24	123,56	136,26	127,66	85,06	88,21	101,32
Restringido	96,43	97,38	95,99	97,59	75,04	83,03	81,52

4.5. Estimación de la ingestión de materia seca mediante el método de los *n*-alkanos

En la Tabla 4.4 se presentan las estimaciones de IMS realizadas utilizando diferentes parejas de alkanos naturales y dosificados presentes en las heces totales producidas por los animales durante los períodos 2 y 3 de balance. Los únicos efectos significativos fueron los del plano de alimentación ($P=0,0016$), el periodo experimental ($P=0,0002$), el animal ($P<0,0001$), la forma de estimación de la ingestión ($P<0,0001$) y la interacción entre el plano de alimentación y la forma de estimación ($P=0,0002$). Esta última interacción fue significativa sólo por una cuestión de magnitudes, ya que tanto en el periodo 2 como en el 3 únicamente las estimaciones obtenidas asumiendo recuperaciones fecales comunes para las diferentes combinaciones de alkanos pares/impares difirieron significativamente de los valores obtenidos *in vivo* (excepto en el caso de la combinación C_{28}/C_{29}).

Aunque no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los valores obtenidos *in vivo* y los estimados a partir de las diferentes combinaciones de alkanos pares/impares cuando se consideraron recuperaciones diferentes de éstos (bien las individuales de cada animal o las medias de cada tratamiento), las menores desviaciones porcentuales con los valores *in vivo* se obtuvieron con las combinaciones en las que intervenían los alkanos dosificados C_{24} y C_{28} . Por ello, las estimaciones de las ingestiones a partir de las concentraciones fecales de alkanos en muestras puntuales de heces (Tabla 4.5) se restringieron a las combinaciones con estos hidrocarburos, considerando recuperaciones diferentes para los adyacentes de cadena par e impar.

En este caso, sólo se encontraron diferencias significativas entre animales ($P<0,0001$), y debidas a la interacción triple entre el plano de alimentación, el periodo experimental y la forma de estimación de la ingestión ($P=0,041$). Es de destacar que, con todas las variaciones debidas a esta interacción, el muestreo de heces de la mañana produjo una subestimación media de la ingestión del 16,8% ($\pm 2,79\%$; $n=32$) con respecto al valor obtenido *in vivo*, mientras que con el muestreo de la tarde la subestimación media fue del 20,4% ($\pm 6,30\%$; $n=32$) y con los valores combinados de los dos muestreos del 6,1% ($\pm 2,66\%$; $n=32$). Únicamente en el periodo 3 se obtuvieron porcentajes de desviación entre los valores *in vivo* y los estimados por debajo del 2% para las parejas C_{24}/C_{25} y C_{28}/C_{29} , y no en todos los casos. Por lo que se refiere a la forma de estimación de las ingestiones, las diferencias entre aplicar las recuperaciones individuales de los diferentes alcanos en cada animal, o aplicar los valores medios de los animales sometidos a cada plano de alimentación, fueron mínimas, con subestimaciones de los valores *in vivo* del 15,6% ($\pm 3,67\%$; $n=48$) en el primer caso, y del 13,2% ($\pm 3,49\%$; $n=48$) en el segundo.

Tabla 4.4. Estimaciones de ingestión de materia seca (kg/día) realizadas utilizando diferentes parejas de alcanos naturales y dosificados presentes en las heces totales diarias de cerdos de $61,7 \pm 0,87$ kg y 17 semanas de edad (P2) y $77,1 \pm 1,39$ kg y 20 semanas de edad (P3) sometidos a dos planos de alimentación (*ad libitum* y restringido).

Plano (T)	<i>Ad libitum</i>		Restringido		<i>P*</i>				
Periodo (P)	P2	P3	P2	P3	DRE ¹	DRE ²	T	P	E
<i>In vivo</i>	2,05	2,56	1,29	2,05	1,243	0,513	0,0016	<0,0001	<0,0001
Estimaciones asumiendo recuperaciones fecales comunes									
C_{24}/C_{23}	0,976	2,120	0,796	2,090					
C_{24}/C_{25}	0,872	1,102	0,768	1,006					
C_{28}/C_{27}	0,946	1,224	0,900	1,066					
C_{28}/C_{29}	2,020	2,396	1,990	2,520					
C_{32}/C_{31}	0,630	1,078	0,542	1,078					
C_{32}/C_{33}	0,188	0,662	0,152	1,002					
Estimaciones considerando las recuperaciones fecales de cada cerdo									
C_{24}/C_{23}	2,090	2,560	1,294	1,992					
C_{24}/C_{25}	2,068	2,664	1,288	2,054					
C_{28}/C_{27}	1,982	2,674	1,250	2,038					
C_{28}/C_{29}	1,968	2,644	1,254	2,036					
C_{32}/C_{31}	2,080	2,628	1,274	2,028					
C_{32}/C_{33}	2,158	2,642	1,312	2,036					
Estimaciones considerando las recuperaciones fecales medias de los cerdos de cada tratamiento (<i>ad libitum</i> o restringido)									
C_{24}/C_{23}	2,084	2,576	1,284	1,992					
C_{24}/C_{25}	2,052	2,724	1,282	2,066					
C_{28}/C_{27}	1,976	2,678	1,248	2,034					
C_{28}/C_{29}	1,946	2,660	1,252	2,028					
C_{32}/C_{31}	2,240	2,798	1,282	2,058					
C_{32}/C_{33}	2,422	3,106	1,342	2,158					

DRE¹: desviación residual estándar para comparaciones entre planos de alimentación, entre periodos y entre interacciones entre ambos factores.

DRE²: desviación residual estándar para comparaciones entre formas de estimación y entre interacciones de este factor con el plano de alimentación y el periodo.

P: probabilidad de las diferencias.

* El efecto de la interacción entre el plano y la forma de estimación fue estadísticamente significativo (*P*=0,0002).

Tabla 4.5. Estimaciones de ingestión de materia seca (kg/día) realizadas utilizando diferentes parejas de alcanos naturales y dosificados presentes en muestras puntuales de heces de cerdos de $61,7 \pm 0,87$ kg y 17 semanas de edad (P2) y $77,1 \pm 1,39$ kg y 20 semanas de edad (P3) sometidos a dos planos de alimentación (*ad libitum* y restringido).

Plano (T)	<i>Ad libitum</i>		Restringido		<i>P*</i>					
	Periodo (P)	P2	P3	P2	P3	DRE ¹	DRE ²	T	P	E
<i>In vivo</i>		2,054	2,564	1,286	2,052	5,166	1,221	0,0967	0,2416	0,9885
Estimaciones considerando las recuperaciones fecales de cada cerdo										
C_{24}/C_{23} 0930		1,834	3,692	1,490	2,676					
C_{24}/C_{23} 1800		2,708	2,302	0,716	3,310					
C_{24}/C_{23} Media		1,800	2,628	1,006	2,800					
C_{24}/C_{25} 0930		2,170	3,144	1,550	2,380					
C_{24}/C_{25} 1800		3,682	2,490	1,454	2,912					
C_{24}/C_{25} Media		2,440	2,528	1,380	2,468					
C_{28}/C_{27} 0930		2,824	2,942	1,640	1,962					
C_{28}/C_{27} 1800		3,532	2,202	1,364	2,406					
C_{28}/C_{27} Media		2,708	2,404	1,400	2,106					
C_{28}/C_{29} 0930		2,588	2,900	1,694	1,948					
C_{28}/C_{29} 1800		3,860	2,162	1,338	2,398					
C_{28}/C_{29} Media		2,694	2,334	1,402	2,088					
Estimaciones considerando las recuperaciones fecales medias de los cerdos de cada tratamiento (<i>ad libitum</i> o restringido)										
C_{24}/C_{23} 0930		1,754	3,858	1,426	2,504					
C_{24}/C_{23} 1800		2,814	2,234	0,710	3,204					
C_{24}/C_{23} Media		1,796	2,576	0,990	2,644					
C_{24}/C_{25} 0930		2,126	3,570	1,502	2,296					
C_{24}/C_{25} 1800		3,634	2,412	1,458	2,902					
C_{24}/C_{25} Media		2,394	2,520	1,370	2,418					
C_{28}/C_{27} 0930		2,632	3,010	1,582	1,914					
C_{28}/C_{27} 1800		3,382	2,202	1,378	2,398					
C_{28}/C_{27} Media		2,540	2,420	1,392	2,072					
C_{28}/C_{29} 0930		2,392	2,906	1,624	1,886					
C_{28}/C_{29} 1800		3,514	2,074	1,352	2,342					
C_{28}/C_{29} Media		2,452	2,280	1,386	2,030					

0930: Concentración de alcanos en muestras de heces tomadas a las 09:30 h.

1800: Concentración de alcanos en muestras tomadas a las 18:00 h.

Media: Valor medio de las concentraciones de alcanos en las muestras tomadas a las 09:30 y a las 18:00 horas.

DRE¹: desviación residual estándar para comparaciones entre planos de alimentación, entre períodos y entre interacciones entre ambos factores.

DRE²: desviación residual estándar para comparaciones entre formas de estimación y entre interacciones de este factor con el plano de alimentación y el periodo.

P: probabilidad de las diferencias.

* El efecto de la interacción triple entre el plano de alimentación, el periodo y la forma de estimación fue estadísticamente significativo ($P=0,041$).

La Tabla 4.6 muestra las estimaciones de digestibilidad realizadas utilizando diferentes alcanos naturales presentes en las heces totales producidas por los animales durante los periodos 2 y 3 de balance. El único efecto significativo fue el de la forma de estimación ($P<0,0001$), con los valores obtenidos considerando una recuperación de los diferentes alcanos del 100% muy alejados de los registrados *in vivo*. Las desviaciones porcentuales de los valores obtenidos utilizando las recuperaciones fecales de los diferentes alcanos frente a los registrados *in vivo* fueron bajas, tanto cuando se consideraron las recuperaciones individuales de cada cerdo (subestimación media del 0,2% ($\pm 0,13\%$; $n=10$)) como cuando se utilizaron las recuperaciones medias de los cerdos sometidos a cada plano de alimentación en cada periodo (sobreestimación del 1,9% ($\pm 0,20\%$; $n=10$)). Por esta razón, en las estimaciones de digestibilidad obtenidas utilizando las muestras puntuales de heces (Tabla 4.7) no se consideró el primer caso (asunción de una recuperación fecal del 100% de los diferentes alcanos). Con estas condiciones de operación el único efecto significativo fue el animal ($P=0,0074$). Los promedios de los porcentajes de desviación a los valores *in vivo* fueron del 0,5% ($\pm 0,06\%$; $n=12$) cuando se consideró la recuperación individual de los diferentes alcanos en cada cerdo, y del 3,8% ($\pm 0,01\%$; $n=12$) cuando se consideraron las recuperaciones medias de los cerdos de un mismo tratamiento. Respecto al momento de obtención de las muestras puntuales, las desviaciones fueron del 0,95% ($\pm 0,014\%$; $n=4$) con la muestra de la mañana, 1,09% ($\pm 0,010\%$; $n=4$) con la muestra de la tarde cuando se usaron las recuperaciones individuales y del -0,51% ($\pm 0,003\%$; $n=4$) cuando se utilizó el valor medio de concentración de alcanos de ambas muestras. Cuando se consideraron las recuperaciones medias de alcanos, las desviaciones fueron del 3,92% ($\pm 0,028\%$; $n=4$) con la muestra de la mañana, del 4,49% ($\pm 0,027\%$; $n=4$) con la de la tarde, y del 3,03% ($\pm 0,017\%$; $n=4$) con el valor medio. Los alcanos con los que se obtuvieron las mejores estimaciones fueron el C₂₉ y el C₃₁, con desviaciones promedio a los valores *in vivo* del 0,89% ($\pm 0,001\%$; $n=6$) y del 1,01% ($\pm 0,002\%$; $n=6$), respectivamente.

Tabla 4.6. Estimaciones de digestibilidad de la materia seca (%) realizadas utilizando diferentes alcanos naturales presentes en las heces totales diarias de cerdos de $61,7 \pm 0,87$ kg y 17 semanas de edad (P2) y $77,1 \pm 1,39$ kg y 20 semanas de edad (P3) sometidos a dos planos de alimentación (*ad libitum* y restringido).

Plano (T)	<i>Ad libitum</i>		Restringido		<i>P</i>					
	Periodo (P)	P2	P3	P2	P3	DRE ¹	DRE ²	T	P	E
<i>In vivo</i>		84,87	83,87	84,43	84,96	0,246	0,241	0,6849	0,2168	<0,0001
Estimaciones considerando recuperaciones fecales del 100%										
C ₂₁		54,03	53,52	53,17	50,56					
C ₂₃		72,80	70,00	74,19	73,45					
C ₂₅		69,74	71,55	73,19	73,23					
C ₂₆		59,89	63,33	69,37	68,28					
C ₂₇		73,60	76,01	75,67	77,99					
C ₂₉		74,80	76,87	76,90	79,39					
C ₃₀		59,74	55,28	59,27	73,35					
C ₃₁		62,11	62,83	61,25	69,84					
C ₃₃		-41,22	-46,27	-42,41	-5,30					
C ₃₅		12,04	11,62	-49,66	33,81					
Estimaciones considerando las recuperaciones fecales de cada cerdo										
C ₂₁		85,39	86,23	84,68	87,13					
C ₂₃		85,09	78,28	84,52	79,43					
C ₂₅		84,88	88,01	84,45	89,37					
C ₂₆		82,88	92,64	83,86	92,64					
C ₂₇		84,32	89,92	84,10	90,20					
C ₂₉		84,04	87,76	84,14	88,22					
C ₃₀		83,28	83,39	83,81	84,28					
C ₃₁		84,99	84,25	84,27	84,98					
C ₃₃		85,55	66,67	84,71	68,18					
C ₃₅		85,51	88,32	84,50	88,68					
Estimaciones considerando las recuperaciones fecales medias de los cerdos de cada tratamiento (<i>ad libitum</i> o restringido)										
C ₂₁		85,25	86,16	84,54	86,98					
C ₂₃		84,99	78,21	84,35	79,26					
C ₂₅		84,82	88,78	84,29	89,29					
C ₂₆		82,88	92,53	82,98	92,24					
C ₂₇		84,26	89,89	83,78	90,14					
C ₂₉		83,96	87,69	83,90	88,00					
C ₃₀		82,46	77,62	81,33	84,99					
C ₃₁		84,70	83,69	83,88	83,93					
C ₃₃		83,64	60,64	83,96	55,81					
C ₃₅		78,39	82,87	71,04	77,64					

DRE¹: desviación residual estándar para comparaciones entre planos de alimentación, entre períodos y entre interacciones entre ambos factores.

DRE²: desviación residual estándar para comparaciones entre formas de estimación y entre interacciones de este factor con el plano de alimentación y el periodo.

P: probabilidad de las diferencias.

Tabla 4.7. Estimaciones de digestibilidad de materia seca (%) realizadas utilizando diferentes alcanos naturales presentes en muestras puntuales de heces de cerdos de $61,7 \pm 0,87$ kg y 17 semanas de edad (P2) y $77,1 \pm 1,39$ kg y 20 semanas de edad (P3) sometidos a dos planos de alimentación (*ad libitum* y restringido).

Plano (T)	<i>Ad libitum</i>		Restringido		<i>P</i>					
	Periodo (P)	P2	P3	P2	P3	DRE ¹	DRE ²	T	P	E
<i>In vivo</i>		84,87	83,87	84,43	84,96	0,246	0,241	0,3799	0,9843	0,8908
Estimaciones considerando las recuperaciones fecales de cada cerdo										
C ₂₁ 0930		81,25	83,56	82,51	85,73					
C ₂₁ 1800		82,62	79,94	84,46	82,01					
C ₂₁ Media		82,20	81,97	83,35	84,17					
C ₂₉ 0930		83,71	84,28	84,02	84,22					
C ₂₉ 1800		85,48	82,38	84,53	81,72					
C ₂₉ Media		84,81	83,42	84,37	83,19					
C ₃₀ 0930		74,26	78,53	73,86	108,96					
C ₃₀ 1800		81,71	66,89	79,66	114,05					
C ₃₀ Media		80,56	74,28	79,77	121,60					
C ₃₁ 0930		84,11	84,03	84,52	82,75					
C ₃₁ 1800		86,49	81,59	86,39	78,53					
C ₃₁ Media		85,92	82,96	85,97	81,33					
Estimaciones considerando las recuperaciones fecales medias de los cerdos de cada tratamiento (<i>ad libitum</i> o restringido)										
C ₂₁ 0930		81,25	83,56	82,17	85,83					
C ₂₁ 1800		82,69	79,94	84,34	81,94					
C ₂₁ Media		82,20	81,97	83,35	84,17					
C ₂₉ 0930		83,54	84,35	84,14	83,90					
C ₂₉ 1800		85,43	82,54	84,41	81,74					
C ₂₉ Media		84,72	83,53	84,38	83,01					
C ₃₀ 0930		72,97	78,39	77,63	67,38					
C ₃₀ 1800		81,84	69,15	78,32	66,46					
C ₃₀ Media		80,13	75,05	80,70	76,49					
C ₃₁ 0930		83,73	84,20	85,14	81,92					
C ₃₁ 1800		86,72	81,97	86,22	78,71					
C ₃₁ Media		85,86	83,23	86,21	80,86					

0930: Concentración de alcanos en muestras de heces tomadas a las 09:30 h.

1800: Concentración de alcanos en muestras tomadas a las 18:00 h.

Media: Valor medio de las concentraciones de alcanos en las muestras tomadas a las 09:30 y a las 18:00 horas.

DRE¹: desviación residual estándar para comparaciones entre planos de alimentación, entre períodos y entre interacciones entre ambos factores.

DRE²: desviación residual estándar para comparaciones entre formas de estimación y entre interacciones de este factor con el plano de alimentación y el periodo.

P: probabilidad de las diferencias.

5. Discusión

5.1. Composición analítica de los piensos

Como era de esperar, la composición química y el contenido en *n*-alcanos de los piensos apenas varió entre los tres períodos del experimento (Tabla 4.1). Es destacable la baja concentración en alkanos de las dietas de cerdos en comparación con la detectada habitualmente en las dietas de rumiantes. La razón está en que el pienso de los rumiantes tiene un contenido en fibra (>20% FND en el caso del ternero en cebo; FEDNA, 2008) notablemente mayor que el pienso de los cerdos (11-15% FND en engorde; (FEDNA, 2006) y los alkanos se localizan, precisamente, en las ceras de la cutícula de las plantas (Tulloch, 1976).

5.2. Ingestión y digestibilidad *in vivo*

En lo que respecta a los valores de ingestión y digestibilidad obtenidos *in vivo*, son destacables las diferencias detectadas entre períodos de balance en lo que se refiere al nivel de restricción del pienso. Mientras que en los Periodos 1 y 2 los animales restringidos consumieron el 61% y el 62% de la MS ingerida por los animales alimentados *ad libitum*, respectivamente, en el Periodo 3 esta proporción fue del 80% (Tabla 4.2). Sin embargo, las diferentes ingestiones promovidas por los distintos planos de alimentación en cada fase de crecimiento de los cerdos no afectaron a los valores de digestibilidad de la MS o sus fracciones. Sí afectó sobre la digestibilidad la fase de crecimiento, con menores valores (en un 1,2%) en los animales más jóvenes. La aparición de diferencias significativas entre medias tan próximas indica la gran homogeneidad existente entre animales sometidos a un mismo tratamiento. Por otro lado, los valores de digestibilidad *in vivo* obtenidos en el presente experimento son normales y similares a los obtenidos en otros trabajos (Bulang y Rodehutscord, 2009).

En la Tabla 4.2 también se presenta la recuperación fecal de las CIDA. Como ya se indicó en el capítulo de Material y Métodos, la opción inicial fue trabajar con las AIA, aunque posteriormente se tomó la decisión de cambiar a las CIDA debido a que las AIA no incluyen todo el sílice de las plantas (Van Soest, 1994b) y teniendo en cuenta su contrastada utilidad en animales rumiantes. Sin embargo, los resultados del presente trabajo mostraron una recuperación fecal de las CIDA muy por debajo del 100% necesario para poder ser consideradas como un buen marcador de digestibilidad. Además, la variabilidad fue grande, tanto entre períodos de crecimiento de los animales como entre planos de alimentación, lo que tampoco permite trabajar con un factor de corrección de la recuperación constante. La razón de estas bajas

recuperaciones puede encontrarse en el hecho de que las CIDA están asociadas a la fibra, y este componente fue muy bajo en los piensos de los cerdos. Por ello, cualquier pequeño error analítico se traduciría en desviaciones importantes en el cálculo de la recuperación fecal. Sin embargo, estos errores podrían conducir tanto a sobreestimaciones como a subestimaciones y, en este caso, los valores obtenidos siempre estuvieron por debajo del 65%. Por tanto, otras razones, como la posible absorción de algunos componentes de las CIDA en el tracto digestivo de los cerdos, deben ser consideradas.

5.3. Recuperación fecal de los n-alcanos

El objetivo principal de este trabajo fue estudiar la validez de la técnica de los *n*-alcanos como marcadores internos para estimar la ingestión y la digestibilidad individual de pienso en cerdos en confinamiento. Para ello, y dada la práctica ausencia de trabajos publicados en esta especie, se siguieron los procedimientos utilizados por otros autores en animales rumiantes (Dove y Mayes, 1991; Mayes et al., 1997; Mayes y Dove, 2000; Dove et al., 2000; Valiente et al., 2003; Ferreira et al., 2004; Ferreira et al., 2005; Keli et al., 2008a; Keli et al., 2008b; Celaya et al., 2011; Morais et al., 2011) que implican: 1) el conocimiento de la recuperación fecal de los diferentes *n*-alcanos y de los factores que la afectan (longitud de cadena, variabilidad animal, efectos del tipo de alimento y del plano de alimentación, etc.), 2) el conocimiento del ritmo circadiano de excreción de los diferentes hidrocarburos, con el objetivo de definir la pauta óptima de obtención de muestras fecales cuando la colección total no es posible y 3) las variaciones de comportamiento en la recuperación fecal de los alkanos naturales (contenidos en las plantas) y dosificados.

La recuperación fecal de los *n*-alcanos naturales siguió, en general, una evolución curvilínea creciente-decreciente, excepto en el Periodo 1, con un máximo para el alcano C₂₉ (Figura 4.1). Este máximo para el nonacosano también ha sido señalado por Ribeiro et al. (2007) en un estudio con cerdos Alentejanos, aunque en animales rumiantes las recuperaciones más altas se han obtenido con alkanos de mayor longitud de cadena (Mayes et al., 1986; Dove et al., 2002; Valiente et al., 2003). Durante el Periodo 1, las recuperaciones de parafinas naturales en heces estuvieron por debajo del 50% en casi todos los casos, siguiendo además una evolución decreciente con la longitud de cadena (Figura 4.1a). Este comportamiento no se ha observado en la literatura consultada sobre rumiantes y, en el intento de buscar una explicación, se ha relacionado con el patrón de ingestión de la MS (Figura 4.2a). En este periodo, los animales sufrieron grandes variaciones en la ingestión de alimentos entre días, lo que no sucedió en los siguientes periodos. Se puede especular, por tanto, con que una

pauta de ingestión relativamente constante entre días es fundamental para obtener valores fiables de recuperación fecal de los diferentes alkanos naturales en cerdos.

En nuestras condiciones, las recuperaciones fueron similares en los Periodos 2 y 3, en los que las ingestiones fueron diferentes, así como en los animales bajo distintos planos (*ad libitum* o restringidos). Estos resultados indicarían que, en el ganado porcino, el nivel de ingestión no afecta a la recuperación fecal de los *n*-alcanos naturales, al contrario de lo que se ha sugerido en los animales rumiantes (Dove et al., 2002).

En cuanto a la recuperación fecal de los *n*-alcanos dosificados (C_{24} , C_{28} , C_{32} y C_{36}), es necesario indicar que, debido a la forma de estimación, los valores de C_{36} resultaron fuera de rango, por lo que esta parafina no fue utilizada finalmente en las estimaciones de ingestión y digestibilidad. En el caso de los otros hidrocarburos, las recuperaciones estuvieron próximas a o por encima del 100% en el Periodo 2, y algo por debajo de estos valores en el Periodo 3. En cualquier caso, las recuperaciones de estos alkanos también se vieron afectadas por el plano de alimentación (Tabla 4.3). Es de destacar que, en los animales rumiantes, se ha sugerido que los alkanos dosificados pueden ir más vehiculados en la fase líquida de la digesta, mientras que los naturales irían más asociados a la fase sólida de la misma (Marais et al., 1996; Mayes et al., 1988; 1997). Por tanto, un mayor nivel de ingestión provocaría un tránsito más rápido de la digesta, sobre todo de la fase líquida de la misma, pudiendo afectar a la recuperación fecal de, sobre todo, los alkanos dosificados. Los resultados del presente trabajo parecen confirmar este hecho también en cerdos, en los que el efecto parcialmente regulador del rumen no existe. En animales rumiantes parece importante considerar la cinética de ingestión para una correcta administración de los alkanos dosificados, con la intención de obtener comportamientos similares entre los naturales y los infundidos (Sibbald et al., 2000). A la vista de nuestros resultados, esta afirmación puede ser igualmente válida en cerdos.

5.4. Estimación de la ingestión con el método de los *n*-alcanos

Las ingestiones estimadas a partir de la concentración de alkanos dosificados y naturales en las heces totales recogidas en los Periodos 2 y 3, y teniendo en cuenta las recuperaciones individuales de cada cerdo o los valores medios de los cerdos de un mismo tratamiento (*ad libitum* o restringido), no fueron diferentes de los valores obtenidos *in vivo*. Los mejores resultados se consiguieron con las parejas de alkanos C_{28}/C_{27} y C_{28}/C_{29} , coincidiendo con los hidrocarburos naturales de mayor recuperación fecal. La estimación de la ingestión asumiendo recuperaciones iguales de los alkanos adyacentes (Dove y Mayes, 1991) ofreció valores diferentes de los obtenidos *in vivo*,

por lo que parece claro que esta asunción no es admisible. A una conclusión similar se llegó en los trabajos de Keli et al. (2008a), con ganado ovino, o Morais et al. (2011) en ganado vacuno de carne.

Tabla 5.1. Efecto de la hora de muestreo sobre la concentración (mg/kg de materia seca) de alcanos procedentes del pienso en heces tomadas puntualmente del recto, de cerdos de: $61,7 \pm 0,87$ kg y 17 semanas de edad (Periodo 2) y de $77,1 \pm 1,39$ kg y 20 semanas de edad (Periodo 3).

Plano de alimentación	Cerdo	09:30 h				18:00 h			
		C ₂₃	C ₂₅	C ₂₇	C ₂₉	C ₂₃	C ₂₅	C ₂₇	C ₂₉
Periodo 2									
Restringido	1	4,75	15,38	19,91	37,42	4,27	13,87	18,67	27,69
	2	4,63	7,74	18,76	27,23	2,70	16,10	18,99	27,36
	3	4,54	12,94	17,81	30,74	3,07	16,72	20,38	33,15
	4	4,93	17,40	21,29	29,08	2,99	17,40	21,62	33,66
	5	3,86	15,01	16,86	24,95	3,19	17,05	19,62	30,21
	6	5,30	15,79	23,71	34,84	1,16	17,13	22,34	33,31
<i>Ad libitum</i>	7	4,19	15,17	19,17	25,98	1,02	15,15	18,31	27,52
	8	4,05	13,76	19,65	29,40	0,89	14,57	17,60	24,77
	9	3,61	8,94	18,85	25,28	5,63	17,42	24,60	45,27
	10	4,37	17,10	20,98	30,02	5,76	18,32	21,75	34,18
	11	4,51	14,61	17,93	28,62	6,70	15,00	19,04	30,36
	12	3,66	13,07	15,22	21,81	4,64	13,09	17,16	25,48
Periodo 3									
Restringido	1	5,97	17,24	25,31	39,49	5,33	14,33	18,46	27,96
	2	4,67	12,21	16,09	26,91	5,81	13,06	17,57	29,51
	3	6,17	16,24	18,83	30,68	5,76	15,97	19,41	29,63
	4	5,74	15,85	19,79	30,71	5,25	14,72	17,89	30,03
	5	5,98	15,57	19,47	30,31	5,98	16,38	18,35	26,50
	6	6,68	20,53	29,15	44,83	4,83	15,69	19,76	30,26
<i>Ad libitum</i>	7	5,78	16,91	22,03	31,45	4,77	17,34	20,01	32,84
	8	5,63	15,38	20,08	28,08	4,23	13,99	16,27	22,32
	9	5,05	16,18	18,98	27,22	4,49	14,34	18,47	25,06
	10	5,58	16,85	19,16	30,77	5,28	14,42	18,72	27,02
	11	6,58	16,64	23,21	37,63	5,49	16,70	19,13	30,73
	12	6,03	17,38	22,57	31,98	5,03	17,93	22,16	30,88

Por otro lado, al estimar las ingestiones a partir de la concentración de los alcanos en muestras puntuales de heces se observaron subestimaciones. Dichas subestimas fueron similares cuando se consideró exclusivamente un muestreo (del 17% y del 20% por la mañana y por la tarde, respectivamente) pero en ambos casos mayores que cuando se combinaron ambas (del 6%). Estos resultados indican que podría haber un efecto importante de la evolución circadiana de la concentración de parafinas en heces

sobre la estimación de la ingestión. Cuando se analizó la concentración fecal de hidrocarburos naturales en ambas muestras, las diferencias fueron de escasa magnitud, lo que no justificaría las desviaciones en las estimaciones de la ingestión (Tabla 5.1).

Sin embargo, cuando se analizó la concentración de alkanos dosificados (Tabla 5.2), las diferencias entre el muestreo de la mañana y el de la tarde fueron importantes. Lógicamente, al basarse la estimación de la ingestión en las relaciones de concentraciones de alkanos adyacentes pares/impares, un error apreciable en uno de ellos llevará a una mala estimación de la ingestión. Parece necesario, por tanto, un estudio detallado de la variación circadiana de la concentración de *n*-alkanos, sobre todo dosificados, en las heces de los animales, para establecer los protocolos óptimos de muestreo de cara a obtener estimaciones fiables de la ingestión. En la única publicación encontrada al respecto (Ribeiro et al., 2007) se señala una ausencia de efecto circadiano en cerdos, aunque es de destacar que estos autores trabajaron con la raza Alentejana consumiendo pastos, y que la capacidad de hidratación de la fibra pudo ralentizar el ritmo de tránsito de la fase líquida (Guillon y Champ, 2000), supuesto vehículo de los alkanos dosificados. En trabajos realizados con rumiantes (Dillon y Stakelum, 1988; Dove et al., 2002; Keli et al., 2008a) se ha indicado la existencia de un efecto circadiano, aunque se considera que es más intenso en animales en confinamiento, especialmente cuando se alimenta una vez al día, que en condiciones de pastoreo, donde los animales se alimentan *ad libitum* y a lo largo del día (Dove et al., 2002). Los cerdos utilizados en el presente experimento fueron alimentados una vez al día y pudo comprobarse el consumo de prácticamente toda la ración en apenas una hora. La voracidad de los cerdos es ampliamente conocida. En condiciones comerciales de granja, donde los animales tienen acceso continuo a las tolvas de pienso, es de esperar que el efecto circadiano se minimice.

*5.5. Estimación de la digestibilidad utilizando los *n*-alkanos como marcadores internos*

Al igual que en el caso de la ingestión, la estimación de la digestibilidad usando los *n*-alkanos como marcadores internos y la colección total de heces, y considerando las recuperaciones fecales de cada uno de los hidrocarburos (Tabla 4.6), fue buena, indicando el potencial de estos marcadores. Una conclusión similar fue obtenida por (Morais et al., 2011) en terneros en crecimiento, en el sentido de que las desviaciones con respecto a los valores *in vivo* se reducen al tenerse en cuenta las recuperaciones fecales individuales de cada *n*-alcano. Los alkanos que ofrecieron mejores estimaciones fueron el C₂₉ y el C₃₁, de acuerdo con el trabajo de Mendes et al. (2007). Parece, por tanto, que el alcano C₂₉ es la opción más adecuada tanto para las estimaciones de ingestión como de digestibilidad.

Sin embargo, y al contrario que en el caso de la estimación de la ingestión, la utilización de muestras puntuales ofreció buenos resultados, sin diferencias entre éstas, lo que justifica la utilización de estos marcadores para estimar la digestibilidad en cerdos. La obtención de una sola muestra puntual de heces, en cualquier momento del día, sería suficiente, tal y como sugieren Mendes et al. (2007). El hecho de que para estimar la digestibilidad sólo sean necesarios los alcanos naturales, cuya variación circadiana ya hemos comprobado que es escasa, explica las diferencias de precisión con la estimación de la ingestión

Tabla 5.2 Efecto de la hora de muestreo sobre la concentración (mg/kg de materia seca) de alcanos dosificados en heces tomadas puntualmente del recto, de cerdos de: $61,7 \pm 0,87$ kg y 17 semanas de edad (Periodo 2) y de $77,1 \pm 1,39$ kg y 20 semanas de edad (Periodo 3).

Plano de alimentación	Cerdo	09:30 h				18:00 h			
		C ₂₄	C ₂₈	C ₃₂	C ₃₆	C ₂₄	C ₂₈	C ₃₂	C ₃₆
Periodo 2									
Restringido	1	358,2	514,97	335,8	443,49	449,9	735,96	371,77	609,05
	2	793,3	1187,2	692,4	1089,0	477,3	729,45	449,04	798,48
	3	269,9	423,80	310,4	475,72	724,8	1148,5	808,52	1038,4
	4	491,6	645,39	545,3	758,09	397,7	545,41	482,48	557,53
	5	351,7	538,16	398,4	551,24	729,5	1068,3	791,56	1085,9
	6	456,1	630,26	494,7	659,87	324,2	486,22	324,36	487,85
<i>Ad libitum</i>	7	222,9	342,30	491,8	322,23	313,3	576,05	471,72	566,99
	8	400,3	565,03	460,4	622,57	601,3	769,52	849,68	971,20
	9	279,3	395,72	305,6	370,93	174,8	228,90	196,20	237,23
	10	525,9	728,02	520,2	828,90	219,2	360,32	350,64	327,89
	11	499,9	358,91	703,4	722,95	909,3	1276,3	1032,4	1327,7
	12	779,7	1140,7	696,0	1044,5	182,0	309,62	251,74	433,12
Periodo 3									
Restringido	1	305,8	543,53	313,2	392,09	242,3	443,65	223,99	341,29
	2	266,8	527,72	338,2	444,18	195,9	353,45	260,29	367,74
	3	213,1	330,90	216,6	368,74	302,3	381,42	277,14	300,07
	4	194,3	397,69	196,1	247,38	179,5	227,50	202,25	288,55
	5	568,3	519,84	563,0	692,64	215,4	261,88	204,32	286,56
	6	388,4	449,60	301,2	385,45	196,6	317,54	180,71	230,44
<i>Ad libitum</i>	7	286,4	447,72	288,6	399,39	220,1	310,97	188,28	258,13
	8	349,5	545,83	382,2	479,93	516,4	750,33	774,84	652,82
	9	225,7	292,49	238,4	348,77	269,7	398,66	245,63	327,20
	10	127,7	156,19	143,1	176,19	356,7	368,60	313,33	415,71
	11	611,8	651,64	388,5	472,74	454,9	711,88	331,06	617,99
	12	317,0	324,50	311,6	365,07	258,4	289,75	330,45	364,91

6. Conclusiones

1. En el rango de planos de alimentación que va desde un 60% de *ad libitum* hasta *ad libitum*, la digestibilidad de la materia seca o sus fracciones no se ve afectada, por el plano de alimentación independientemente de la edad de los animales en cerdos alimentados con piensos comerciales. Aunque las diferencias entre edades son mínimas en valores absolutos, lo que indica una gran homogeneidad entre individuos, los cerdos más jóvenes (15 semanas de edad y 45 kg de peso vivo) presentan digestibilidades ligeramente inferiores.
2. En cerdos, la recuperación fecal de los *n*-alcanos naturales (aquellos contenidos en el alimento) está estrechamente relacionada con la pauta de ingestión, aunque no con el nivel de alimentación. Una pauta de administración del pienso relativamente constante entre días es, por tanto, fundamental para obtener valores fiables de recuperación fecal de los diferentes alkanos naturales, cuya concentración en heces no parece sufrir variaciones de consideración a lo largo del día.
3. La recuperación fecal de los *n*-alcanos sintéticos administrados a los cerdos es muy superior a la de los alkanos naturales, lo que puede estar relacionado con su posible transporte con la fase líquida de la digesta. Este hecho conlleva, además, una variación circadiana importante en su concentración fecal.
4. La estimación de la ingestión en cerdos a partir de la concentración fecal de diferentes parejas de alkanos naturales (de cadena impar) y dosificados (de cadena par) en muestras puntuales de heces parece un método prometedor, aunque para su correcto uso es imprescindible conocer las variaciones diarias en la concentración fecal de los alkanos dosificados.
5. El método de los *n*-alcanos parece un método fiable para estimar la digestibilidad en cerdos a partir de su concentración en muestras puntuales de heces, siendo el nonacosano (C_{29}) la opción aparentemente más adecuada.
6. Tanto para la estimación de la ingestión como para la de la digestibilidad, utilizando el método de los alkanos en el ganado porcino, es imprescindible considerar la recuperación fecal de los diferentes alkanos empleados en el cálculo. La asunción de recuperaciones iguales de los alkanos adyacentes no es práctica recomendable.

7. Bibliografía

- Adeola, O. 1995. Dietary lysine and threonine utilization by young-pigs - efficiency for carcass growth. *Can. J. Anim. Sci.* 75(3): 445-452.
- Adeolao, O. y R. Ball. 1992. Hypothalamic neurotransmitter concentrations and meat quality in stressed pigs offered excess dietary tryptophan and tyrosine. *J. Anim. Sci.* 70(6): 1888-1894.
- Agostini, P. S., J. Gasa, E. G. Manzanilla, C. A. Da Silva y C. de Blas. 2013. Descriptive study of production factors affecting performance traits in growing-finishing pigs in spain. *Spanish Journal of Agricultural Research.* 11(2): 371-381.
- Agudelo, J. H., M. D. Lindemann y G. L. Cromwell. 2010. A comparison of two methods to assess nutrient digestibility in pigs. *Livest. Sci.* 133(1-3): 74-77.
- Andersen, H. J., N. Oksbjerg, J. F. Young y M. Therkildsen. 2005. Feeding and meat quality - a future approach. *Meat Sci.* 70(3): 543-554
- Andersson, K., A. Schaub, K. Andersson, K. Lundstrom, S. Thomke y I. Hansson. 1997. The effects of feeding system, lysine level and gilt contact on performance, skatole levels and economy of entire male pigs. *Livest. Prod. Sci.* 51(1-3): 131-140.
- AOAC. 2005. Official methods of analysis. W. Horwitz, G.W. Latimer, eds. 18th ed. Gaithersburg MA, USA, Association of Official Analytical Chemists.
- Apple, J. K., C. V. Maxwell, D. C. Brown, K. G. Friesen, R. E. Musser, Z. B. Johnson. 2004. Effects of dietary lysine and energy density on performance and carcass characteristics of finishing pigs fed ractopamine. *J. Anim. Sci.* 82(11): 3277-2287
- Babot, D., E. Chavez y J. Noguera. 2003. The effect of age at the first mating and herd size on the lifetime productivity of sows. *Anim. Res.* 52(1): 49-64.
- Baker, D. H., J. D. Hahn, T. K. Chung y Y. Han. 1993. Nutrition and growth: The concept and application of an ideal protein for swine growth. Hollis G. R., ed. Wallingford; GB, CAB International.
- Barbut, S., A. A. Sosnicki, S. M. Lonergan, T. Knapp, D. C. Ciobanu, L. J. Gatcliffe. 2008. Progress in reducing the pale, soft and exudative (PSE) problem in pork and poultry meat. *Meat Sci.* 79(1): 46-63
- Barton-Gade, P. 1987. Meat and fat quality in boars, castrates and gilts. *Livest. Prod. Sci.* 16(2): 187-196.

- Batterham, E. S., L. M. Andersen y D. R. Baigent. 1994. Utilization of ileal digestible amino-acids by growing pigs - tryptophan. *Br. J. Nutr.* 71(3): 345-360.
- Batterham, E. S., L. M. Andersen, D. R. Baigent y E. White. 1990. Utilization of ileal digestible amino-acids by growing pigs - effect of dietary lysine concentration on efficiency of lysine retention. *Br. J. Nutr.* 64(1): 81-94.
- Bikker, P., M. W. A. Verstegen y M. W. Bosch. 1994. Amino-acid-composition of growing pigs is affected by protein and energy-intake. *J. Nutr.* 124(10): 1961-1969.
- BOE. 2007a. Real decreto 1469/2007 de 2 de noviembre por el que se aprueba la norma de calidad para la carne, el jamón, la paleta y la caña de lomo ibéricos. Boletín Oficial Del Estado. 264: 45087-45104.
- BOE. 2007b. LEY 32/2007, de 7 de noviembre, para el cuidado de los animales, en su explotación, transporte, experimentación y sacrificio. 268
- Boler, D. D., L. W. Kutzler, D. M. Meeuwse, V. L. King, D. R. Campion, F. K. McKeith. 2011. Effects of increasing lysine on carcass composition and cutting yields of immunologically castrated male pigs. *J. Anim. Sci.* 89(7): 2189-2199
- Bonneau, M. 1998. Use of entire males for pig meat in the european union. *Meat Sci.* 49: S257-S272.
- Bonneau, M., R. Dufour, C. Chouvet, C. Roulet, W. Meadus y E. Squieres. 1994. The effects of immunization against luteinizing-hormone-releasing hormone on performance, sexual development, and levels of boar taint-related compounds in intact male pigs. *J. Anim. Sci.* 72(1): 14-20.
- Briskey, E. J. 1964. Etiological status and associated studies of pale, soft, exudative porcine musculature. *Adv. Food Res.* 13: 89-178.
- Bruininx, E., G. Binnendijk, C. van der Peet-Schowering, J. Schrama, L. den Hartog, H. Everts. 2002. Effect of creep feed consumption on individual feed intake characteristics and performance of group-housed weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 80(6): 1413-1418.
- Bulang, M. y M. Rodehutscord. 2009. Development of equations for predicting metabolisable energy concentrations in compound feeds for pigs. *Archives of Animal Nutrition.* 63(6): 442-454.
- Buxadé, C. 1996. Porcinocultura intensiva y extensiva. Madrid, España., Ediciones Mundi-Prensa.
- Campbell, R. y M. Taverner. 1988. Genotype and sex effects on the relationship between energy-intake and protein deposition in growing-pigs. *J. Anim. Sci.* 66(3): 676-686.

- Carew, L. B. 1973. Establishing standardized procedures for metabolizable energy determinations. *Feedstuffs*. 45(12): 25-26.
- Celaya, R., L. M. M. Ferreira, U. Garcia, R. Rosa Garcia y K. Osoro. 2011. Diet selection and performance of cattle and horses grazing in heathlands. *Animal*. 5(9): 1467-1473.
- Cerisuelo, A., A. Torres, M. Lainez y V. Moset. 2012. Increasing energy and lysine in diets for growing-finishing pigs in hot environmental conditions: Consequences on performance, digestibility, slurry composition, and gas emission. *J. Anim. Sci.* 90(5): 1489-1498.
- Chiba, L. I., H. W. Ivey, K. A. Cummins y B. E. Gamble. 1999. Growth performance and carcass traits of pigs subjected to marginal dietary restrictions during the grower phase. *J. Anim. Sci.* 77(7): 1769-1776.
- Chung, T. K. y D. H. Baker. 1992. Efficiency of dietary methionine utilization by young-pigs. *J. Nutr.* 122(9): 1862-1869.
- Church, D. C. y W. G. Pond. 1987. Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. 1a ed. México etc., Limusa.
- Clermont, R. y A. Desilets. 1982. Epizootiological aspects of porcine respiratory-diseases which were encountered in quebec from september 1980 until february 1981. *Can. Vet. J. -Rev. Vet. Can.* 23(6): 179-182.
- Clowes, E., F. Aherne, G. Foxcroft y V. Baracos. 2003. Selective protein loss in lactating sows is associated with reduced litter growth and ovarian function. *J. Anim. Sci.* 81(3): 753-764.
- Cole, D., J. Duckwort y W. Holmes. 1967. Factors affecting voluntary feed intake in pigs .I. effect of digestible energy content of diet on intake of castrated male pigs housed in holding pens and in metabolism crates. *Anim. Prod.* 9 (2): 141-148.
- Cordova, F. J., J. D. Wallace y R. D. Pieper. 1978. Forage intake by grazing livestock - review. *J. Range Manage.* 31(6): 430-438.
- Cronin, G. M., F. R. Dunshea, K. L. Butler, I. McCauley, J. L. Barnett y P. H. Hemsworth. 2003. The effects of immuno- and surgical-castration on the behaviour and consequently growth of group-housed, male finisher pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 81(2): 111-126.
- Daza, A., M. A. Latorre, A. Olivares y C. J. López Bote. 2013. The effect of inmunocastration on growth performance and meat quality of heavy gilts. Proceedings of ASAS congress, Indianapolis, EEUU.

del Río Moreno, J. L. 1996. El cerdo. Historia de un elemento esencial de la cultura castellana en la conquista y colonización de américa (siglo XVI). Anuario De Estudios Americanos. 53(1): 13-35

Dijkhuizen, A. A. 1992. Modelling animal health economics. Inaugural speech, Wageningen Agricultural University.

Dixon, R. M. y L. P. Milligan. 1985. Removal of digesta components from the rumen of steers determined by sieving techniques and fluid, particulate and microbial markers. Br. J. Nutr. 53(2): 347-362.

Dove, H., M. Freer y J. Foot. 2000. The nutrition of grazing ewes during pregnancy and lactation: A comparison of alkane-based and chromium/in vitro-based estimates of herbage intake. Aust. J. Agric. Res. 51(6): 765-777.

Dove, H. y R. W. Mayes. 2005. Using *n*-alkanes and other plant wax components to estimate intake, digestibility and diet composition of grazing/browsing sheep and goats. Small Ruminant Research. 59(2-3): 123-139.

Dove, H. y R. Mayes. 1991. The use of plant wax alkanes as marker substances in studies of the nutrition of herbivores - a review. Aust. J. Agric. Res. 42(6): 913-952.

Dove, H., R. Mayes, C. Lamb y K. Ellis. 2002. Factors influencing the release rate of alkanes from an intra-ruminal, controlled-release device, and the resultant accuracy of intake estimation in sheep. Aust. J. Agric. Res. 53(6): 681-696.

Edwards, S. A., A. W. Armsby y H. H. Spechter. 1988. Effects of floor area allowance on performance of growing-pigs kept on fully slatted floors. Anim. Prod. 46(3): 453-459.

Edwards, S. 2003. Intake of nutrients from pasture by pigs. Proc. Nutr. Soc. 62(2): 257-265.

Eissen, J. J., E. Kanis y B. Kemp. 2000. Sow factors affecting voluntary feed intake during lactation. Livest. Prod. Sci. 64(2-3): 147-165.

Ellis, M., A. J. Webb, P. J. Avery y I. Brown. 1996. The influence of terminal sire genotype, sex, slaughter weight, feeding regime and slaughter-house on growth performance and carcass and meat quality in pigs and on the organoleptic properties of fresh pork. Anim. Sci. 62(3): 521-530.

Engblom, L., N. Lundeheim, E. Strandberg, M. d. P. Schneider, A. -. Dalin y K. Andersson. 2008. Factors affecting length of productive life in swedish commercial sows. J. Anim. Sci. 86(2): 432-441.

Engblom, L., N. Lundeheim, A. Dalin y K. Andersson. 2007. Sow removal in swedish commercial herds. Livest. Sci. 106(1): 76-86.

- Everts, H. 1994. Nitrogen and energy metabolism of sows during several reproductive cycles in relation to nitrogen intake. University of Wageningen. : 157.
- Fabian, J., L. I. Chiba, D. L. Kuhlers, L. T. Frobish, K. Nadarajah, C. R. Kerth. 2002. Degree of amino acid restrictions during the grower phase and compensatory growth in pigs selected for lean growth efficiency. *J. Anim. Sci.* 80(10): 2610-2618.
- FAO. 2011. Livestock in food security. Rome: Food and agricultural organization of the united nations. *World Livestock 2011*.
- FAOSTAT. Base de datos de la FAOActualizado en: 2013. Accesado en: 2013. <http://faostat.fao.org/site/610/DesktopDefault.aspx?PageID=610#ancor>
- FEDNA. 2010. Fundación española para el desarrollo de la nutrición animal tablas de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos. 3rd ed. Madrid, España,
- FEDNA. 2006. Necesidades nutricionales para ganado porcino. de Blas C., J. Gasa and G. G. Mateos, eds. Madrid, España,
- Ferreira, L. M. M., M. Olivan, U. Garcia, M. A. M. Rodrigues y K. Osoro. 2005. Validation of the alkane technique to estimate diet selection of goats grazing heather-gorse vegetation communities. *J. Sci. Food Agric.* 85(10): 1636-1646.
- Ferreira, L. M. M., M. Olivan, M. A. M. Rodrigues, K. Osoro, H. Dove y A. Dias-Da-Silva. 2004. Estimation of feed intake by cattle using controlled-release capsules containing *n*-alkanes or chromium sesquioxide. *J. Agric. Sci.* 142(2): 225-234.
- Figueroa, J., D. Sola-Oriol, L. Vinokurovas, X. Manteca y J. F. Perez. 2013. Prenatal flavour exposure through maternal diets influences flavour preference in piglets before and after weaning. *Anim. Feed Sci. Technol.* 183(3-4): 160-167.
- Figueroa, J., D. Sola-Oriol, E. Borda, A. Sclafani y J. Francisco Perez. 2012. Flavour preferences conditioned by protein solutions in post-weaning pigs. *Physiol. Behav.* 107(3): 309-316.
- Forcada, F., D. Babot, A. Vidal y C. Buxadé. 2009. Ganado porcino diseño de alojamientos e instalaciones. Zaragoza, España., Editorial Servet.
- Fuller, M. F., A. Cadenhead y K. H. Chen. 1983. The utilization of a supposedly ideal protein for growing-pigs. *Proc. Nutr. Soc.* 42(1): A25-A25.
- Giraldez, F., C. Lamb, S. Lopez y R. Mayes. 2004. Effects of carrier matrix and dosing frequency on digestive kinetics of even-chain alkanes and implications on herbage intake and rate of passage studies. *J. Sci. Food Agric.* 84(12): 1562-1570.

- Gonyou, H. W. y W. R. Stricklin. 1998. Effects of floor area allowance and group size on the productivity of growing/finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 76(5): 1326-1330.
- Greenhalgh, J. F. D. 1982. An Introduction to Herbage Intake Measurement. Pages 1-10 in *Herbage Intake Handbook*. Leaver, J. D., ed. British Grassland Society,
- Guzman-Pino, S. A., D. Sola-Oriol, J. Figueira, E. Borda y J. F. Perez. 2012. Dietary energy density affects the preference for protein or carbohydrate solutions and piglet performance after weaning. *J. Anim. Sci.* 90(4): 71-73.
- Haresign, W., D. J. A. Cole y P. C. Garnsworthy. 1993. Recent developments in pig nutrition 2. Loughborough, Nottingham University Press.
- Heger, J., T. Van Phung, L. Krizova, M. Sustala y K. Simecek. 2003. Efficiency of amino acid utilization in the growing pig at suboptimal levels of intake: Branched-chain amino acids, histidine and phenylalanine plus tyrosine. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 87(1-2): 52-65.
- Heyer, A. y B. Lebret. 2007. Compensatory growth response in pigs: Effects on growth performance, composition of weight gain at carcass and muscle levels, and meat quality. *J. Anim. Sci.* 85(3): 769-778
- Hinson, R. B., B. R. Wiegand, M. J. Ritter, G. L. Allee y S. N. Carr. 2011. Impact of dietary energy level and ractopamine on growth performance, carcass characteristics, and meat quality of finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 89(11): 3572-3579.
- Hoving, L. L., N. M. Soede, E. A. M. Graat, H. Feitsma y B. Kemp. 2010. Effect of live weight development and reproduction in first parity on reproductive performance of second parity sows. *Anim. Reprod. Sci.* 122(1-2): 82-89
- Hsia, L. C. y G. H. Lu. 1989. The Effects Of Season, Sex and Breed on Pig Food Intake and Performance. Pages 119 in *The Voluntary Food Intake of Pigs*. Forbes, J. M., M. A. Varley y T. L. Lawrence, eds. British Society of Animal Production, Edinburgh.
- Huff-Lonergan, E., T. J. Baas, M. Malek, J. C. M. Dekkers, K. Prusa y M. F. Rothschild. 2002. Correlations among selected pork quality traits. *J. Anim. Sci.* 80(3): 617-627.
- Hyun, Y. y M. Ellis. 2001. Effect of group size and feeder type on growth performance and feeding patterns in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 79(4): 803-810.
- Jagger, S., J. Wiseman, D. Cole y J. Craigon. 1992. Evaluation of inert markers for the determination of ileal and fecal apparent digestibility values in the pig. *Br. J. Nutr.* 68(3): 729-739.
- Jongbloed, A. W., J. G. M. Bakker, P. W. Goedhart y F. Krol-Kramer. 1991. Evaluation of chromic oxide with lower concentration and HCl-insoluble ash as markers of

- measuring overall apparent digestibility of some dietary nutrients for pigs. Proceedings of the vth international symposium on digestive physiology in pigs. Wageningen, Netherlands.
- Kanis, E. y W. Koops. 1990. Daily gain, food-intake and food efficiency in pigs during the growing period. *Anim. Prod.* 50(2): 353-364.
- Keli, A., D. Andueza, A. de Vega y J. A. Guada. 2008a. Validation of the *n*-alkane and NIRS techniques to estimate intake, digestibility and diet composition in sheep fed mixed lucerne: Ryegrass diets. *Livest. Sci.* 119(1-3): 42-54.
- Keli, A., R. W. Mayes y A. de Vega. 2008b. In vitro studies of the metabolism of [(14)C]-*n*-alkanes using ruminal fluid of sheep as substrate. *Animal.* 2(12): 1748-1752.
- Kim, J. C., J. M. Heo, R. R. Nicholls, B. P. Mullan y J. R. Pluske. 2010. The use of trivalent metal markers for estimating the individual feed intake of young pigs. *Livest. Sci.* 133(1-3): 70-73.
- Kirchgessner, M., M. Kreuzer y F. X. Roth. 1989. Microbial turnover in the hindgut of sows as affected by intracecal infusion of large amounts of different pure substrates .2. efficiency of microbial protein-synthesis and fermentation capacity of the hindgut. *Landwirtschaftliche Forschung.* 42(2-3): 114-126.
- Koketsu, Y., H. Takahashi y K. Akachi. 1999. Longevity, lifetime pig production and productivity, and age at first conception in a cohort of gilts observed over six years on commercial farms. *J. Vet. Med. Sci.* 61(9): 1001-1005.
- Krieter, J. y E. Tholen. 2001. Selection for meat quality within pure bred lines in swine - a study. *Archiv Fur Tierzucht-Archives of Animal Breeding.* 44(5): 531-546.
- Kyriazakis, I., G. Emmans y R. McDaniel. 1993. Whole-body amino-acid-composition of the growing pig. *J. Sci. Food Agric.* 62(1): 29-33.
- Latorre, M. A., F. Iguacel, L. Sanjoaquin y R. Revilla. 2009. Effect of sire breed on carcass characteristics and meat and fat quality of heavy pigs reared outdoor and intended for dry-cured meat production. *Animal.* 3(3): 461-467
- Latorre, M. A., R. Lazaro, D. G. Valencia, P. Medel y G. G. Mateos. 2004. The effects of gender and slaughter weight on the growth performance, carcass traits, and meat quality characteristics of heavy pigs. *J. Anim. Sci.* 82(2): 526-533.
- Latorre, M., R. Lazaro, M. Gracia, M. Nieto y G. Mateos. 2003a. Effect of sex and terminal sire genotype on performance, carcass characteristics, and meat quality of pigs slaughtered at 117 kg body weight. *Meat Sci.* 65(4): 1369-1377.
- Latorre, M., P. Medel, A. Fuentetaja, R. Lazaro y G. Mateos. 2003b. Effect of gender, terminal sire line and age at slaughter on performance, carcass characteristics and meat quality of heavy pigs. *Anim. Sci.* 77(1): 33-45.

- Le Du, Y. L. P. y P. D. Penning. 1982. Animal Based Technique for Estimating Herbage Intake. Pages 37-75 in Herbage Intake Handbook. Leaver, J. D., ed. British Grassland Society, Hurley, GB.
- Lebret, B., H. Juin, J. Noblet y M. Bonneau. 2001. The effects of two methods of increasing age at slaughter on carcass and muscle traits and meat sensory quality in pigs. *Anim. Sci.* 72(1): 87-94.
- Ledividich, J., B. Desmoulin y J. Dourmad. 1985. Effect of room-temperature and feeding level on growing finishing pig performance. *Ann. Zootech.* 34(3): 374-375.
- Lefaucheur, L., J. Ledividich, J. Mourot, G. Monin, P. Ecolan y D. Krauss. 1991. Influence of environmental-temperature on growth, muscle and adipose-tissue metabolism, and meat quality in swine. *J. Anim. Sci.* 69(7): 2844-2854.
- Lewis, R. M., A. M. Magadlela, N. S. Jessop y G. C. Emmans. 2003. The ability of the *n*-alkane technique to estimate intake and diet choice of sheep. *Anim. Sci.* 77(2): 319-327.
- Lizaso, J. 1994. Programas de alimentación en el cebo de cerdos. X curso de especialización FEDNA. Madrid, España.
- Lopez, J., G. Jesse, B. Becker y M. Ellersieck. 1991. Effects of temperature on the performance of finishing swine .2. effects of a cold, diurnal temperature on average daily gain, feed-intake, and feed-efficiency. *J. Anim. Sci.* 69(5): 1850-1855.
- Lorenzo-Bermejo, J., R. Rohe, G. Rave y E. Kalm. 2000. Optimization of Feed Intake Curve in Growing Pigs using Linear and Non Linear Models. Pages 44 in Proceedings of the 51st Meeting of EAAP. van Arendonk, J. A. M., ed. Wageningen Pers, Wageningen.
- Lucia, T., M. Correa, J. Deschamps, I. Bianchi, M. Donin, A. Machado. 2002. Risk factors for stillbirths in two swine farms in the south of Brazil. *Prev. Vet. Med.* 53(4): 285-292.
- Lucia, T., G. Dial y W. Marsh. 2000. Lifetime reproductive performance in female pigs having distinct reasons for removal. *Livest. Prod. Sci.* 63(3): 213-222.
- Magowan, E., M. E. E. Ball, K. J. McCracken, V. E. Beattie, R. Bradford, M. J. Robinson. 2011. Effect of dietary regime and group structure on pig performance and the variation in weight and growth rate from weaning to 20 weeks of age. *Livest. Sci.* 136(2-3): 216-224.
- Manno, M. C., R. F. Miranda de Oliveira, J. L. Donzele, W. Pereira de Oliveira, R. G. Marcal Vieira Vaz, B. A. Nunes Silva. 2006. Effects of environmental

- temperature on performance of pigs from 30 to 60 kg live weight. Rev. Bras. Zootecn. 35(2): 471-477.
- Marais, J., D. Figenschou, P. EscottWatson y L. Webber. 1996. Administration in suspension-form of *n*-alkane external markers for dry matter intake and diet selection studies. J. Agric. Sci. 126(2): 207-210.
- Mavromichalis, I. 2006. Applied nutrition for young pigs. Wallingford, Cabi.
- Mayes, R. W., J. Giráldez y C. S. Lamb. 1997. Estimation of gastrointestinal passage rates of different plant components in ruminants using isotopically-labelled plant-wax hydrocarbons or sprayed even-chain alkanes. Proc. Nutr. Soc. 56: 187A.
- Mayes, R. W., C. S. Lamb y P. M. Colgrove. 1988. Digestion and metabolism of dosed even-chain and herbage odd-chain *n*-alkanes in sheep. Proceedings of the 12th general meeting of the european grassland federation, Dublin, Ireland.
- Mayes, R. W. y H. Dove. 2000. Measurement of dietary nutrient intake in free-ranging mammalian herbivores. Nutrition Research Reviews. 13(1): 107-138.
- Mayes, R. W., H. Dove, X. B. Chen y J. A. Guada. 1995. Advances in the use of faecal and urinary markers for measuring diet composition, herbage intake and nutrient utilisation in herbivores. IVth international symposium on the nutrition of herbivores, Clermont Ferrand, Francia.
- Mayes, R. y C. Lamb. 1984. The possible use of normal-alkanes in herbage as indigestible fecal markers. Proc. Nutr. Soc. 43(1): A39-A39.
- Mayes, R., C. Lamb y P. Colgrove. 1986. The use of dosed and herbage *n*-alkanes as markers for the determination of herbage intake. J. Agric. Sci. 107(1): 161-170.
- McCarthy, J., F. Aherne y D. Okai. 1974. Use of hcl insoluble ash as an index material for determining apparent digestibility with pigs. Canadian Journal of Animal Science. 54(1): 107-109.
- McCracken, K. J. y R. I. Stockdale. 1989. Voluntary Feedintake of Pigs of High Genetic Potential Fed Pellets Toappetite: Effects of Sex and Dietary Protein Content. Pages 117-118 in The Voluntary Food Intake of Pigs. Forbes, J. M., M. A. Varley, and T. L. J. Lawrence, eds. occasional publication no. 13 ed. British Society of Animal Production,
- Medel, P., M. A. Latorre, C. de Blas, R. Lazaro y G. G. Mateos. 2004. Heat processing of cereals in mash or pellet diets for young pigs. Anim. Feed Sci. Technol. 113(1-4): 127-140.
- Meijs, J. A. C., R. J. K. Walters y A. Keen. 1982. Sward Methods. Pages 11-36 in Herbage Intake Handbook. Leaver, J. D., ed. British Grassland Society,

- Mendes, C. M., M. I. Ferraza de Oliveira, T. Ribeiro y M. C. d'Abreu. 2007. Estimation of intake and digestibility of pasture and acorns by alentajano pigs using *n*-alkanes. Revista De Ciências Agrárias (Portugal). 30(1): 199-204.
- Mertens, D. R. y L. O. Ely. 1982. Relationship of rate and extent of digestion to forage utilization - a dynamic-model evaluation. J. Anim. Sci. 54(4): 895-905.
- Miller, G., D. Forster, J. Tsai y G. Bowman. 1995. Productivity and profitability differences between pseudorabies-infected and pseudorabies-noninfected farrow-to-finish swine herds. J. Am. Vet. Med. Assoc. 206(4): 446-451.
- Minson, D. J. 1990. Forage in ruminant nutrition. San Diego, CA, Academic Press Inc.
- Morais, J. A. S., T. T. Berchielli, A. de Vega, M. F. S. Queiroz, A. Keli, R. A. Reis. 2011. The validity of *n*-alkanes to estimate intake and digestibility in nellore beef cattle fed a tropical grass (brachiaria brizantha cv. marandu). Livest. Sci. 135(2-3): 184-192.
- Morales, J. I., L. Camara, J. D. Berrocoso, J. P. Lopez, G. G. Mateos y M. P. Serrano. 2011. Influence of sex and castration on growth performance and carcass quality of crossbred pigs from 2 large white sire lines. J. Anim. Sci. 89(11): 3481-3489
- Morrow, W., A. Leman, N. Williamson, R. Moser y C. Pijoan. 1989. Improving parity-2 litter size in swine. J. Anim. Sci. 67(7): 1707-1713.
- Moter, V. y H. Stein. 2004. Effect of feed intake on endogenous losses and amino acid and energy digestibility by growing pigs. J. Anim. Sci. 82(12): 3518-3525.
- NRC. 2012. Nutrient requirements of swine. National Research Council. Ed. Rev. 11º National Academy Press, Washington DC, EEUU.
- NRC. 1998. Nutrient requirements of swine. National Research Council, ed. 10th. National Academy Press, Washington DC, EEUU.
- NRC. 1981. Effect of environment on nutrient requirements of domestic animals. National Academy Press, Washington DC, EEUU.
- Observatori del porcí. 2011. Informe del sector porcino ejercicio 2011.
- O'Connell, N. E., V. Beattie y D. Watt. 2005. Influence of regrouping strategy on performance, behaviour and carcass parameters in pigs. Livest. Prod. Sci. 97(2-3): 107-115.
- Oliván, M. y K. Osoro. 1997. Utilización de la técnica de los *n*-alcanos en estudios de ingestión y selección de dieta de los rumiantes en pastoreo: Revisión. ITEA. 93: 193-208.

- Oliveira, R. F. M., C. A. A. Fontes y J. F. C. Silva. 1991. Estudo da recuperação fecal do Cr₂O₃ e dos indicadores internos CIA, CIDA e lignina em períodos de coleta de dois a sete dias, em bovinos. Revista Da Sociedade Brasileira De Zootecnia. 20(5): 522-531.
- Oliveira, J., E. Yus y F. J. Guitian. 2009. Effects of management, environmental and temporal factors on mortality and feed consumption in integrated swine fattening farms. *Livest. Sci.* 123(2-3): 221-229
- Ordakowski, A., D. Kronfeld, J. Holland, B. Hargreaves, L. Gay, P. Harris. 2001. Alkanes as internal markers to estimate digestibility of hay or hay plus concentrate diets in horses. *J. Anim. Sci.* 79(6): 1516-1522.
- Osbourne, D. F., R. A. Terry, G. E. Outen y J. B. Cammell. 1974. The significance of a determination of cell wall as the rational basis for the nutritive evaluation of forages. Proc. of the 12th international grassland congress, Moscow.
- Peddie, J., W. Dewar, A. Gilbert y D. Waddington. 1982. The use of titanium-dioxide for determining apparent digestibility in mature domestic-fowls (*gallus-domesticus*). *J. Agric. Sci.* 99(9): 233-236.
- Peinado, J., M. P. Serrano, M. Nieto, J. Sánchez, P. Medel y G. G. Mateos. 2012. The effects of gender and castration of females on performance and carcass and meat quality of heavy pigs destined to the dry-cured industry. *Meat Sci.* 90(3): 715-720.
- Peiretti, P. G., G. Meineri, N. Miraglia, M. Mucciarelli y D. Bergero. 2006. Intake and apparent digestibility of hay or hay plus concentrate diets determined in horses by the total collection of feces and *n*-alkanes as internal markers. *Livest. Sci.* 100(2-3): 189-194.
- Penning, P. D. y R. H. Johnson. 1983. The use of internal markers to estimate herbage digestibility and intake .2. indigestible acid detergent fiber. *J. Agric. Sci.* 100(2): 133-138.
- Pomar, C., L. Hauschild, G. Zhang, J. Pomar y P. A. Lovatto. 2009. Applying precision feeding techniques in growing-finishing pig operations. *Revista Brasileira De Zootecnia-Brazilian Journal of Animal Science.* 38(1): 226-237
- Prunier, A., N. Soede, H. Quesnel y B. Kemp. 2003. Productivity and Longevity of Weaned Sows. Pages 385-419 in *Wening the Pig*. Pluske, J. R., J. de Lividich y M. Verstegen, eds. Wageningen Academic Publishers, Wageningen.
- Quesnel, H., A. Pasquier, A. Mounier y A. Prunier. 1998. Influence of feed restriction during lactation on gonadotropin hormones and ovarian development in primiparous sows. *J. Anim. Sci.* 76(3): 856-863.

- Ramaekers, P., J. Swinkels, J. Huiskes, M. Verstegen, L. DenHartog y C. VanderPeetSchwering. 1996. Performance and carcass traits of individual pigs housed in groups as affected by ad libitum and restricted feeding. *Livest. Prod. Sci.* 47(1): 43-50.
- Revell, D., I. Williams, B. Mullan, J. Ranford y R. Smits. 1998. Body composition at farrowing and nutrition during lactation affect the performance of primiparous sows: I. voluntary feed intake, weight loss, and plasma metabolites. *J. Anim. Sci.* 76(7): 1729-1737.
- Ribeiro, T., M. I. Ferraza de Oliveira, C. M. Mendes y M. C. d'Abreu. 2007. Study for the validation of the *n*-alkanes technique to estimate feed intake and digestibility in alentejano pigs. *Revista De Ciências Agrárias (Portugal)*. 30(1): 296-302.
- Richard, C. E. 2001. Energy Utilization in Swine Nutrition. Pages 85 in *Swine Nutrition*. Second ed. CRC Press,
- Riley, J. E. 1989. Recent Trends in Pig Production: The Importance of Intake. Pages 1 in *The Voluntary Food Intake of Pigs*. Forbes, J. M., M. A. Varley y T. L. J. Lawrence, eds. British Society of Animal Production, Edinburgh.
- Rinaldo, D. y J. Ledividich. 1991. Assessment of optimal temperature for performance and chemical body-composition of growing pigs. *Livest. Prod. Sci.* 29(1): 61-75.
- Rodríguez Estévez, V., F. Sánchez-Esquiliche y D. Carrión. 2012. Evaluación del peso al nacimiento en granjas europeas y su efecto sobre variables de productivas de la paridera. III congreso ANAVEPOR. Zaragoza, España.
- Rodriguez-Sánchez, J. A., G. Ripoll, S. Calvo, L. Arino y M. A. Latorre. 2009. The effect of seasonality of the growing-finishing period on carcass, meat and fat characteristics of heavy barrows and gilts. *Meat Sci.* 83(3): 571-576.
- Rodriguez-Sánchez, J. A., M. A. Sanz, M. Blanco, M. P. Serrano, M. Joy y M. A. Latorre. 2011. The influence of dietary lysine restriction during the finishing period on growth performance and carcass, meat, and fat characteristics of barrows and gilts intended for dry-cured ham production. *J. Anim. Sci.* 89(11): 3651-3662.
- Ruiz, J., C. García, E. Muriel, A. I. Andres y J. Ventanas. 2002. Influence of sensory characteristics on the acceptability of dry-cured ham. *Meat Sci.* 61(4): 347-354.
- Rutherford, K. M. D., E. M. Baxter, R. B. D'Eath, S. P. Turner, G. Arnott, R. Roehe. 2013. The welfare implications of large litter size in the domestic pig I: Biological factors. *Anim. Welfare.* 22(2): 199-218.
- SAGARPA. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera de México. Actualizado en: 2013. Accesado en: 2013. http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=3&Itemid=29

Schulze, V., R. Roehe, J. Bermejo, H. Looft y E. Kalm. 2002. Genetic associations between observed feed intake measurements during growth, feed intake curve parameters and growing-finishing performances of central tested boars. *Livest. Prod. Sci.* 73(2-3): 199-211.

Sehested, J., K. Soegaard, V. Danielsen, A. Roepstorff y J. Monrad. 2004. Grazing with heifers and sows alone or mixed: Herbage quality, sward structure and animal weight gain. *Livest. Prod. Sci.* 88(3): 223-238.

Serrano, M. P., D. G. Valencia, A. Fuentetaja, R. Lázaro y G. G. Mateos. 2008. Effect of gender and castration of females and slaughter weight on performance and carcass and meat quality of iberian pigs reared under intensive management systems. *Meat Sci.* 80(4): 1122-1128.

Sibbald, A., G. Davidson y R. Mayes. 2000. Effect of dosing regime on intake estimation using the *n*-alkane technique in sheep fed pelleted grass meal. *J. Sci. Food Agric.* 80(8): 1206-1210.

SIP. Informe consolidado-2011, España. Actualizado en: 2011. Accesado en: 2013. <http://www.sipconsultors.com/images/stories/articles/Cons2011/coste2011.pdf>

Steele, W. y J. Clapperton. 1982. The use of chromic oxide as a food marker - a warning. *J. Sci. Food Agric.* 33(4): 325-328.

Suarez-Belloch, J., M. A. Sanz, M. Joy y M. A. Latorre. 2013. Impact of increasing dietary energy level during the finishing period on growth performance, pork quality and fatty acid profile in heavy pigs. *Meat Sci.* 93(4): 796-801.

Sulabo, R. C., J. Y. Jacela, M. D. Tokach, S. S. Dritz, R. D. Goodband, J. M. DeRouchey. 2010. Effects of lactation feed intake and creep feeding on sow and piglet performance. *J. Anim. Sci.* 88(9): 3145-3153.

Taylor, A. E., P. Toplis, I. J. Wellock y H. M. Miller. 2012. The effects of genotype and dietary lysine concentration on the production of weaner pigs. *Livest. Sci.* 149(1-2): 180-184.

Tibau, J., X. Puigvert, J. Soler, N. Trilla, A. Diestre, M. Gispert. 1997. Incidencia de factores genéticos y de comportamiento en la eficiencia del crecimiento, la composición y calidad de la canal y de la carne en distintas razas porcinas. *Anaporc.* 171: 74-91.

Torrallardona, D. y E. Roura eds. 2009. Voluntary Feed Intake in Pigs. Wageningen Academic Publishers.

Tullis, J. B. 1982. Protein growth in pigs. Doctoral dissertation, University of Edinburg, GB.

- Tulloch, A. P. 1976. Chemistry of Waxes of Higher Plants. Pages 235 in Chemistry and Biochemistry of Natural Waxes. Kolattukudy, P. E., ed. Elsevier, Amsterdam, Holland.
- USDA. United States Department of Agriculture, Live Stock and Poultry: World Markets and tradeActualizado en: 2013. Accesado en: 2013. http://www.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf
- USDA. United States Department of Agriculture. Swine 2006, Part III: Reference of Swine Health, Productivity, and General Management in the United StatesActualizado en: 2006. Accesado en: 2013. http://www.aphis.usda.gov/animal_health/nahms/swine/downloads/swine2006/Swine2006_dr_PartIII.pdf
- Valiente, O. L., P. Delgado, A. de Vega y J. A. Guada. 2003. Validation of the *n*-alkane technique to estimate intake, digestibility, and diet composition in sheep consuming mixed grain: Roughage diets. *Aust. J. Agric. Res.* 54(7): 693-702.
- Van Keulen, J. y B. A. Young. 1977. Evaluation of acid insoluble ash a natural markers in ruminant digestibility studies. *J. Anim. Sci.* 44(2): 282-287.
- Van Milgen, J., J. Noblet, J. Y. Dourmad, E. Labussiere, F. Garcia-Launay y L. Brossard. 2012. Precision pork production: Predicting the impact of nutritional strategies on carcass quality. *Meat Sci.* 92(3): 182-187
- Van Soest, P. J. 1994a. Nutritional ecology of the ruminant. 2nd ed. Ithaca, New York, Comstock Publishing Associates.
- Van Soest, P. J. 1994b. Forage Evaluation Techniques. Pages 108-112 in Nutritional Ecology of the Ruminant. 2nd ed. Cornell University Press, USA.
- Van Leeuwen, P., A. Veldman, S. Boisen, K. Deuring, G. VanKempen, G. Derksen. 1996. Apparent ileal dry matter and crude protein digestibility of rations fed to pigs and determined with the use of chromic oxide (Cr₂O₃) and acid-insoluble ash as digestive markers. *Br. J. Nutr.* 76(4): 551-562.
- Vinsky, M., S. Novak, W. Dixon, M. Dyck y G. Foxcroft. 2006. Nutritional restriction in lactating primiparous sows selectively affects female embryo survival and overall litter development. *Reprod. Fertil. Dev.* 18(3): 347-355.
- Weatherup, R. N., V. E. Beattie, B. W. Moss, D. J. Kilpatrick y N. Walker. 1998. The effect of increasing slaughter weight on the production performance and meat quality of finishing pigs. *Anim. Sci.* 67(3): 591-600.
- White, H. M., B. T. Richert, A. P. Schinckel, J. R. Burgess, S. S. Donkin y M. A. Latour. 2008. Effects of temperature stress on growth performance and bacon quality in grow-finish pigs housed at two densities. *J. Anim. Sci.* 86(8): 1789-1798.

- Whittemore, C. T., D. M. Green y P. W. Knap. 2001. Technical review of the energy and protein requirements of growing pigs: Protein. Anim. Sci 73(3): 363-373.
- Whittemore, C. T. 1996. Ciencia y práctica de la producción porcina. Zaragoza, Acribia.
- Wilson, H., A. G. Sinclair, F. D. Deb Hovell, R. W. Mayes y S. A. Edwards. 1999. Validation of the *n*-alkane technique for measuring herbage intake in sows. Annual meeting of the british society of animal science, Scarborough.
- Wolter, B., M. Ellis, S. Curtis, E. Parr y D. Webel. 2000. Group size and floor-space allowance can affect weanling-pig performance. J. Anim. Sci. 78(8): 2062-2067.
- Yang, H., P. Eastham, P. Phillips y C. Whittemore. 1989. Reproductive-performance, body-weight and body condition of breeding sows with differing body fatness at parturition, differing nutrition during lactation, and differing litter size. Anim. Prod. 48(1): 181-201.
- Yin, Y., D. McEvoy, J. McEvoy, H. Schulze y K. McCracken. 2000. Studies on cannulation method and alternative indigestible markers and the effects of food enzyme supplementation in barley-based diets on ileal and overall apparent digestibility in growing pigs. Anim. Sci. 70(1): 63-72.
- Zak, L., X. Xu, R. Hardin y G. Foxcroft. 1997. Impact of different patterns of feed intake during lactation in the primiparous sow on follicular development and oocyte maturation. J. Reprod. Fertil. 110(1): 99-106.