

GUÍA PARA LA GESTIÓN DEL AGUA EN LA EXPLOTACIÓN PORCINA

**D. Babot, V. Sancho, S. Pascual, J. Cartanyà, J. Parera,
N. Ferrer, E. García, J. A. Moreno y G. Blanco**



**Porcí de Lleida,
la producció sostenible intel·ligent**

Projecte d'especialització i competitivitat territorial



FILIACIÓN AUTORES

Departament Ciència Animal, Universitat de Lleida

Daniel Babot
Samuel Pascual
Joan Cartanyà
Neus Ferrer
Esther García
José Antonio Moreno
Gerardo Blanco

Centre d'Estudis Porcins

Violeta Sancho

Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació, Generalitat Catalunya

Joan Parera

Edición

Interporc Spain
Universitat de Lleida
2020

Diseño y maquetación

Edicions i Publicacions de la UdL

Ilustración de cubierta

A pink pig made of water standing and smiling
(Georges Kyrillos, Shutterstock)

ISBN electrónico

978-84-9144-235-6

DOI

DOI 10.21001/gestion.agua.explotacion.porcina.2020



ÍNDICE

| | |
|---|----|
| Prólogo | 5 |
| Capítulo 1. Revisión de factores que condicionan el uso de agua en la explotación porcina | 7 |
| 1.1. Introducción | 7 |
| 1.2. Necesidades de agua para los animales | 8 |
| 1.3. Uso de agua para los animales | 11 |
| 1.4. Confort ambiental y uso de agua..... | 14 |
| 1.5. Alimentación y uso de agua..... | 16 |
| 1.6. Instalaciones y equipos y uso de agua..... | 21 |
| 1.6.1. Tipo de bebedero..... | 21 |
| 1.6.2. Flujo de agua del bebedero (presión y velocidad) | 25 |
| 1.6.3. Influencia de la altura y posición del bebedero en el desperdicio de agua | 26 |
| 1.6.4. Utilización de comedero-bebedero, sistema de alimentación seco-húmeda | 27 |
| 1.6.5. Dinámica y consumo individual de agua en animales de engorde | 28 |
| 1.7. Manejo de los animales..... | 30 |
| 1.8. Uso de agua y producción de purín | 31 |
| 1.9. Calidad del agua | 32 |
| Capítulo 2. Optimización del uso de agua en explotaciones porcinas españolas | 37 |
| 2.1. Circuito de distribución y suministro de agua. | 37 |
| 2.2. Caracterización de bebederos a nivel de laboratorio. | 42 |
| 2.2.1. Influencia de la presión nominal del tipo de bebedero sobre el caudal | 44 |
| 2.2.2. Influencia de la presión de trabajo y las pérdidas de carga en el caudal | 47 |
| 2.3. Caracterización de los sistemas de registro del consumo de agua a nivel de laboratorio..... | 49 |
| 2.4. Influencia del tipo de bebedero sobre el uso de agua, la producción de purín y el rendimiento de cerdos de engorde | 53 |
| 2.5. Influencia del tipo de alimentación sobre el uso de agua y rendimiento de cerdos de engorde .. | 56 |
| 2.6. Influencia de la altura del bebedero y de la presión del agua en la eficiencia del uso de agua | 59 |
| 2.7. Implicaciones económicas..... | 62 |

| | |
|--|------------|
| Capítulo 3. Uso de agua y la huella hídrica | 65 |
| 3.1. Huella hídrica..... | 66 |
| 3.2. Huella hídrica en porcino..... | 69 |
| 3.3. Huella hídrica en España | 71 |
| 3.4. Huella hídrica del porcino en España | 76 |
| 3.5. Huella hídrica en la granja porcina: necesidades indirectas de agua | 79 |
| 3.6. Huella hídrica en la granja porcina: necesidades directas de agua..... | 81 |
| 3.7. Huella hídrica en la granja porcina: necesidades totales de agua | 87 |
| 3.8. Huella hídrica gris (generación de purines) | 90 |
| Capítulo 4. Recomendaciones para un uso eficiente del agua en granjas porcinas..... | 95 |
| 4.1. Aspectos generales..... | 95 |
| 4.2. Circuito de distribución para el suministro de agua | 96 |
| 4.2.1. Diseño y control general del circuito de distribución de agua | 96 |
| 4.2.2. Mantenimiento del circuito de distribución de agua..... | 97 |
| 4.3. Bebederos | 98 |
| 4.3.1. Selección del tipo de bebedero | 98 |
| 4.3.2. Instalación, ajuste y mantenimiento de los bebederos | 100 |
| 4.4. Regulación y mantenimiento del bebedero (presión y caudal) | 103 |
| 4.4.1. Presión y caudal | 103 |
| 4.5. Configuración y mantenimiento del bebedero (estado general, presión de agua y caudal) | 104 |
| 4.6. Manejo general de los animales..... | 105 |
| 4.6.1. Condiciones de confort ambiental..... | 105 |
| 4.6.2. Condiciones de alimentación..... | 105 |
| 4.7. Calidad del agua de bebida | 106 |
| 5. Agua de limpieza | 108 |
| Bibliografía | 109 |
| Índice de tablas..... | 119 |
| Índice de figuras..... | 122 |

PRÓLOGO

El agua es un recurso imprescindible, no solo para la vida y el cumplimiento de las funciones biológicas de plantas, animales y personas, también para cubrir otros usos que, en el caso de las explotaciones de porcino, que en esta guía nos ocupan, son muchos y de diferente índole, desde la hidratación de los animales a la refrigeración o desinfección y limpieza de las instalaciones, pasando por su uso a lo largo de todo el proceso de producción.

La concienciación sobre la valía y escasez de este recurso es, sin duda, el primer paso para alcanzar un uso sostenible de esta desde cualquier área y actividad. Los profesionales del sector porcino están muy concienciados con todo lo que atañe al impacto medioambiental de su actividad, y especialmente con hacer un uso responsable del agua.

Las granjas del porcino promueven multitud de iniciativas encaminadas a una mayor optimización del uso del agua, que han dado resultados tangibles de alta importancia que es crucial destacar, como es el hecho de que en los últimos treinta años se ha reducido la huella hídrica por cada kilo de carne de cerdo producido a nivel de granja en un 30%.

No obstante, somos ambiciosos y no nos conformamos con los éxitos logrados, sino que queremos seguir mejorando, y esta guía para la gestión del agua en la explotación porcina es una magnífica herramienta para hacerlo. Se trata de un pormenorizado estudio sobre los consumos en una granja de porcino: la forma o circuito de distribución y suministro de agua; el tipo, número, regulación y mantenimiento de bebederos; el manejo general de los animales, condiciones de temperatura ambiental, de alimentación, etc., la calidad del agua de bebida, o el agua de limpieza.

A partir de esos consumos profundiza en los ahorros que pueden realizarse en cada etapa y ofrece una serie de recomendaciones para un uso eficiente del agua, porque todas las actividades que se desarrollan en una granja pueden contribuir al impacto que esta tiene sobre el ambiente, y, por tanto, es necesario que se lleven a cabo de forma controlada, responsable, organizada y bajo criterios de sostenibilidad y eficacia.

Mejorando los rendimientos actuales en la granja (productividad, ritmos de crecimiento y eficiencia en el uso de agua y del pienso), podemos llegar a reducciones de la huella hídrica de más del 20%, y de más del 32% si en la formulación de los piensos se incorporan las restricciones de la huella hídrica de las materias primas.

Son cifras que nos invitan a continuar trabajando para avanzar en los objetivos ambientales establecidos por la Comisión Europea y alcanzar, en 2050, tanto un impacto climático neutro de la actividad porcina en emisiones GEI como un uso eficiente y sostenible de otros recursos naturales como el agua, el suelo y el aire. Mostramos, igualmente, nuestro compromiso con los ODS de Naciones Unidas.

Alberto Herranz

Director de la Interprofesional del Porcino de Capa Blanca (INTERPORC)

CAPÍTULO 1. REVISIÓN DE FACTORES QUE CONDICIONAN EL USO DE AGUA EN LA EXPLOTACIÓN PORCINA

1.1 Introducción

El agua es un recurso imprescindible en la explotación porcina, necesario para cubrir las necesidades vitales de los animales, para la refrigeración de las instalaciones o la limpieza, pero también tiene otros usos, como la higiene de los trabajadores o el llenado de badenes de desinfección.

Debemos ser conscientes que, a nivel biológico, el contenido de agua del cuerpo del cerdo (Mroz *et al.*, 1995) oscila entre el 80% para animales recién nacidos (de 1 a 2 kg peso vivo) y el 50% para cerdos al final del engorde (de 100 a 105 kg).

No se encuentran muchos datos sobre el uso global de agua en explotaciones porcinas. En la tabla 1 pueden verse los datos publicados por Froese y Small (2001), que cifran el uso global de agua en 89 litros por cerda y día en una granja de ciclo cerrado de Canadá (incluye la parte correspondiente a las reproductoras y la correspondiente a los cerdos en transición, crecimiento y cebo). Los resultados de una encuesta más reciente realizada por Jin *et al.* (2011) en 29 explotaciones porcinas de Canadá ponen de manifiesto la gran variabilidad existente entre explotaciones en la demanda de agua. En las granjas de ciclo cerrado (de 12 a 1.250 cerdas), la demanda de agua oscilaba entre los 219 y los 5.897 litros por cerdo vendido (100 kg). En las granjas de madres con producción de lechones al destete (de 1.300 a 6.000 cerdas), la demanda oscilaba entre 7.218 y 17.568 litros por cerdo destetado. En la fase de crecimiento-cebo (de 23.000 a 24.000 cerdos), la demanda por cerdo vendido fue de entre 621 y 1.927 litros, esto equivale, en promedio, a una variabilidad de entre 5 y 15 litros por animal y día.

En la tabla 2 puede verse la estimación de uso de agua en bebederos en función de la fase de producción en una granja de ciclo cerrado de 1.200 cerdas productivas. La mayor demanda de agua se produce en la fase de engorde (86%), seguida de la fase de transición (10%). La demanda de agua en la fase de maternidad se sitúa en torno al 5% en relación con el total de agua requerida en el proceso de producción de carne porcina. Asumiendo que la granja tiene una producción anual de 30.000 cerdos de engorde (100-105 kg), podemos estimar una demanda de agua media a nivel de bebedero de en torno a 19 litros por cerdo producido.

TABLA 1. DISTRIBUCIÓN DEL TOTAL DE AGUA CONSUMIDA DIARIAMENTE POR UNA EXPLOTACIÓN DE CICLO CERRADO SEGÚN SU UTILIZACIÓN (VALORES OBTENIDOS POR MUESTREO EN DIFERENTES GRANJAS DE CANADÁ) (FROESE Y SMALL, 2001).

| Destino del agua consumida | Utilización media (l/cerda y día) | Porcentaje del total de agua consumida por la explotación |
|--|-----------------------------------|---|
| Agua utilizada en el bebedero | 72,3 | 80,8% |
| Refrigeración de los animales | 13,1 | 14,6% |
| Limpieza | 3,1 | 3,5% |
| Otros | 1 | 1,1% |
| Valor medio general en todas las funciones | 89,5 | 100% |

TABLA 2. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA EN UNA GRANJA DE CICLO CERRADO DE 1.200 CERDAS PRODUCTIVAS.

| Fase | N.º espacios | N.º animales / lote | Plazas | Agua (l/animal y día) | Agua (m ³ /año) | % |
|------------|--------------|---------------------|--------|-----------------------|----------------------------|------|
| Cubrición | 6 | 58 | 348 | 10 | 3,48 | 0,6 |
| Gestación | 12 | 52 | 624 | 16 | 9,984 | 1,7 |
| Maternidad | 5 | 50 | 250 | 26 | 6,5 | 1,1 |
| Transición | 7 | 3.000 | 21.000 | 3 | 63 | 10,6 |
| Engorde | 22 | 2.900 | 63.800 | 8 | 510,4 | 86,0 |
| Total | | | | | 593,364 | |

Este documento tiene como objetivo revisar, actualizar y ampliar el trabajo publicado por Babot et al. (2004), *Técnicas de gestión medioambiental en producción porcina*, realizado en el marco del proyecto TRAMA. En este caso, el esfuerzo se concentrará en revisar los distintos usos del agua en las explotaciones porcinas y valorar en qué momento se producen las mayores pérdidas para intentar ser más eficientes en su utilización. Este trabajo se desarrolla en el marco del proyecto de especialización territorial «PECT Porcí de Lleida, la producció sostenible intel·ligent».

1.2 Necesidades de agua para los animales

El agua es necesaria para los animales para cumplir con las funciones biológicas básicas para la vida, y ello debe garantizar el equilibrio hídrico (entradas de agua = salidas de agua) en el cuerpo del animal.

Las vías de entrada y salida del agua en los animales son las que establecen el balance hídrico, y este es muy variable y depende de distintos factores.

Los principales aportes de agua en el organismo son el agua de bebida y el agua que contienen los alimentos. Además, también se debe considerar como aporte el agua que proviene del metabolismo de las grasas, carbohidratos y proteínas (agua metabólica).

Por otro lado, encontramos tres vías principales de salida del agua del organismo del animal (figura 1):

- A través de la orina (principal vía de excreción del agua). Los riñones se encargan de regular la cantidad excretada en función de la ingestión del agua del animal y de la excreción por otras vías.
- A través de las heces: que contienen entre un 62% y 79% de agua.
- Durante el proceso de respiración: el proceso de inspiración-expiración para termorregular el cuerpo produce una pérdida de humedad.

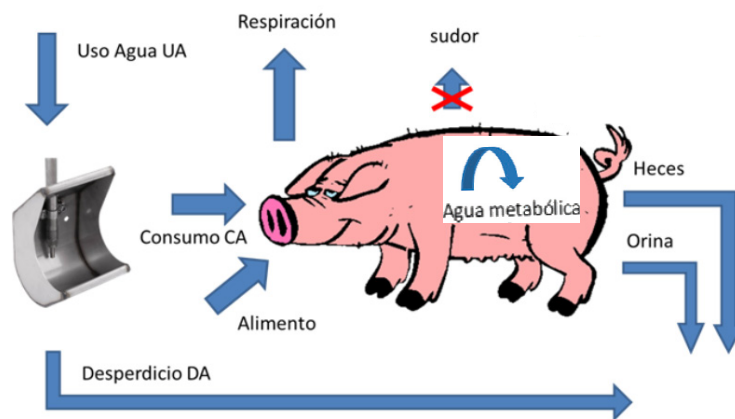


Figura 1. Vías de entrada y salida del agua en porcino.

Teniendo en cuenta la fase productiva en la que se encuentran los animales, sus necesidades hídricas varían dependiendo de las funciones fisiológicas que deben desempeñar, por ejemplo, mantenimiento, crecimiento, gestación, lactación, etc.

En la tabla 3 pueden verse los datos obtenidos por Mroz *et al.* (1995) al estimar el balance de agua en porcino. Estos datos refuerzan la importancia del agua de bebida (65-80%), a la que hay que sumar el agua contenida en el pienso (7-14%) y el agua procedente del metabolismo (12-26%).

TABLA 3. BALANCE DE AGUA EN PORCINO EN CONDICIONES DE TERMONEUTRALIDAD (MROZ ET AL., 1995).

| | Crecimiento (60 kg) | | Gestante (140 kg) | | Lactante (160 kg) | |
|--------------------------|--------------------------------|-------|------------------------------|-------|------------------------------|-------|
| Entradas (l/d) | | % | | % | | % |
| Bebida | 1,9- 3,3 | 69 | 2,63-5,95 | 65 | 8,05-11,75 | 81 |
| Pienso | 0,38 | 14 | 0,36 | 9 | 0,73 | 7 |
| Metabólica | 0,45 | 16 | 1,04 | 26 | 1,16 | 12 |
| Total | 2,73 | | 4,03 | | 9,94 | |
| Salidas (l/d) | | | | | | |
| Incremento peso corporal | 0,48 | | 0,17 | | | |
| Orina | 0,29-1, 71 | 11-41 | 0,67-3,09 | 17-48 | 0,74 -4,45 | 7-32 |
| Heces | 0,97 | 35-23 | 0,94 | 23-14 | 1,87 | 19-14 |
| Leche | | | | | 4,99 | |
| Piel | 0,42 | | 0,72 | | 0,78 | |
| Respiración | 0,58 | | 1,40 | | 1,56 | |
| Otros | | | 0,13 | | | |
| Total | 2,73-4,15 | | 4,03-6,45 | | 9,94-13,65 | |

Para cerdos en crecimiento, en la figura 2 se presentan los datos obtenidos por Patience (2012), que indica que el agua de bebida debe suponer alrededor del 75% del total de necesidades de agua, y que las pérdidas de agua se distribuirán en orina (30%), heces (28%), respiración y piel (28%) y crecimiento corporal (14%).

Balance de la salida de agua en porcino (%)

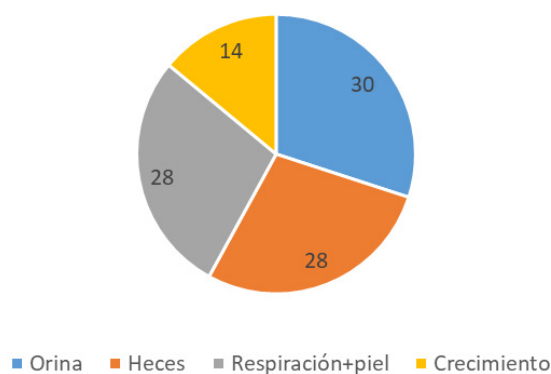


Figura 2. Balance resumen referente a la salida de agua en porcino en crecimiento (adaptado de Patience, 2012).

En todo caso, los datos Gill (1989), Brooks y Carpenter (1990) y Mroz *et al.* (1995), presentados en la tabla 4, ponen de manifiesto la gran variabilidad en los resultados del balance de agua en porcino.

TABLA 4. DATOS REFERENTES AL BALANCE DE PÉRDIDAS DE AGUA (L/DÍA) EN CERDOS DE 60 KG EN CONDICIONES DE TERMONEUTRALIDAD.

| | Gill (1989) | Brooks y Carpenter (1990) | Mroz (1995) |
|----------------------|-------------|---------------------------|-------------|
| Crecimiento corporal | 0,48 | 0,46 | 0,48 |
| Respiración | 0,58 | 0,58 | 0,58 |
| Piel | 0,42 | 0,42 | 0,42 |
| Heces | 0,97 | 0,91 | 0,97 |
| Orina | 0,29-1,71 | 3,37 | 0,20-1,71 |
| Total | 2,74-4,16 | 5,28 | 2,74-4,16 |

1.3 Uso de agua para los animales

El agua que utilizan los animales tiene múltiples usos ya que no solo la utilizan para mantener su equilibrio hídrico, necesario para la vida, sino que también es usada para jugar o para termorregular su cuerpo.

Hay que tener en cuenta que cuando hablamos del agua utilizada por cada animal, o agua desaparecida en el bebedero, no se distingue el agua consumida del agua desperdiciada, por la dificultad práctica de separar estas dos fracciones.

En la tabla 5 se muestra un resumen de los datos medios y rangos de variación de la utilización del agua en distintas fases de producción.

TABLA 5. UTILIZACIÓN DE AGUA EN CERDOS EN DIFERENTES FASES PRODUCTIVAS.

| Animal/ fase productiva | Valor medio (l/animal y día) | Rango (l/animal y día) | Número de autores |
|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------|-------------------|
| Cerda gestante | 16,2 | 9,7-23,6 | 6 |
| Cerda lactante | 25,8 | 20,5-32,2 | 8 |
| Lechón de transición | 2,7 | 2,6-3,8 | 8 |
| Cerdo crecimiento- engorde | 7,9 | 5,1-8,1 | 17 |

A continuación, se muestran diferentes tablas (6, 7, 8 y 9) con los autores y sus valores de utilización del agua según la fase productiva de los animales.

TABLA 6. UTILIZACIÓN DEL AGUA EN CERDAS GESTANTES.

| Autor/es | Año | Utilización media de agua (l/cerda/día) | Rango de utilización (l/cerda/día) |
|---|------|---|------------------------------------|
| Weida | 2000 | 18,75 | |
| Prairie Swine Centre, <i>Pork Production Reference Guide</i> | 2000 | 15 | |
| Froese y Small | 2001 | 15,7 | 13,6-17,2 |
| Almond | 2002 | 16,4 | 11,1-24,6 |
| Massé | 2003 | 15,2 | 8,1-22,3 |
| Devant | 2003 | 28,9 | 21,4-36,5 |
| Kruse <i>et al.</i> | 2011 | | 10-24 |
| Valor promedio | | 18,3 | 12,65-26,85 |

TABLA 7. UTILIZACIÓN DEL AGUA EN CERDAS LACTANTES.

| Autor/es | Año | Utilización media de agua (l/cerda/día) | Rango de utilización (l/cerda/día) |
|---|------|---|------------------------------------|
| Weida | 2000 | 26,25 | |
| Kienholz <i>et al.</i> | 2000 | 20 | |
| Prairie Swine Centre, <i>Pork Production Reference Guide</i> | 2000 | 20 | |
| Froese y Small | 2001 | 37,4 | 18,1-22,7 |
| Devant | 2003 | 38,4 | 26-59,9 |
| Jeon <i>et al.</i> | 2006 | 35,8 | 31,21-38,08 |
| Guillemet <i>et al.</i> | 2006 | 21,6 | 16,8-26,6 |
| Andersen y Pedersen | 2014 | 26 | 23,1-28,9 |
| Valor promedio | | 26,28 | 21,45-33,57 |

TABLA 8. UTILIZACIÓN DEL AGUA EN CERDOS EN TRANSICIÓN.

| Autor/es | Año | Utilización media de agua (l/cerdo/día) | Rango de utilización (l/cerdo/día) |
|--|------|---|------------------------------------|
| Weida | 2000 | 11,2 | |
| Laitat <i>et al.</i> | 2000 | 1,9 | 1,6-2,3 |
| Prairie Swine Centre, <i>Pork Production Reference Guide</i> | 2000 | 3 | |
| Dewey | 2001 | 1,5 | 1,4-1,6 |
| Froese y Small | 2001 | 3,4 | 1,0-3,2 |
| Almond | 2002 | 4,3 | 4,7-3,8 |
| Torrey y Widosnky | 2004 | 1,36 | |
| Torrey <i>et al.</i> | 2008 | 1,2 | |
| Muhlbauer <i>et al.</i> | 2010 | 5,07 | 2,8-7,3 |

TABLA 9. UTILIZACIÓN DEL AGUA EN CERDOS EN CRECIMIENTO-ENGORDE.

| Autor/es | Año | Fase de producción considerada | Utilización media de agua (l/cerdo/día) | Rango de utilización (l/cerdo/día) |
|--|------|--------------------------------|---|------------------------------------|
| Almond | 2002 | Crecimiento | 10 | 8-12 |
| Almond | 2002 | Engorde | 16 | 12-20 |
| Weida | 2000 | Crecimiento-engorde | 15 | |
| Kienholz <i>et al.</i> | 2000 | Crecimiento-engorde | 10 | |
| Brumm 1998 | 1998 | Crecimiento-engorde | 5 | 3,8-6 |
| Prairie Swine Centre, <i>Pork Production Reference Guide</i> | 2000 | Crecimiento-engorde | 7 | |
| Froese y Small | 2001 | Crecimiento-engorde | 7,7 | 3,2-10 |
| Almond | 2002 | Crecimiento-engorde | 7,6 | 4,9-5,3 |
| Li <i>et al.</i> | 2002 | Crecimiento-engorde | | 4,5-10 |
| Li <i>et al.</i> | 2005 | Crecimiento-engorde | 3,6 | 3,0-4,3 |
| Muhlbauer <i>et al.</i> | 2010 | Crecimiento-engorde | 5,94 | 3,9-7,95 |
| Predicala y Alvarado | 2011 | Crecimiento-engorde | | 4,5-10 |
| Álvarez <i>et al.</i> | 2013 | Crecimiento-engorde | 7,6 | 5,6-9,7 |
| Andersen <i>et al.</i> | 2014 | Crecimiento-engorde | 4,99 | |
| Tavares <i>et al.</i> | 2014 | Crecimiento-engorde | 8,33 | 5,94-10,56 |
| Li y Gonyu | 2015 | Crecimiento engorde | 6,4 | 6,03-6,94 |
| Meizhi <i>et al.</i> | 2017 | Crecimiento-engorde | | 2,7-5,6 |
| Chimainski <i>et al.</i> | 2019 | Crecimiento-engorde | 7,89 | 5,92-9,85 |

La variabilidad que se presenta en los estudios citados en las tablas precedentes (6, 7, 8 y 9) se debe en parte a la variabilidad individual de los animales, pero también es el reflejo de la gran cantidad de factores que influyen en las necesidades y uso de agua por parte de los animales. Estos factores de variación se resumen en la tabla 10, siguiendo a Meunier-Salaün *et al.* (2017).

TABLA 10. PRINCIPALES FACTORES QUE AFECTAN A LOS REQUERIMIENTOS E INGESTIÓN DE AGUA EN CERDOS (ADAPTADO DE MEUNIER-SALAÜN *ET AL.*, 2017).

| Factores que pueden llevar a un incremento en los requerimientos e ingestión de agua | |
|---|--|
| Desarrollo animal | Desarrollo de tejidos en animales en crecimiento Modificación de los tejidos animales Desarrollo de fetos y placenta Producción de leche |
| Homeostasis y termorregulación | Exceso de proteína en el pienso Exceso de minerales en el pienso Temperatura ambiental elevada Diarrea |
| Detoxificación | Presencia de toxinas en el pienso Residuos medicamentosos en el cuerpo |
| Otros factores | Bajo contenido de agua en el pienso Incremento en el consumo de pienso Restricción alimentaria Estrés |
| Factores que pueden conducir a ingestas de agua por debajo de los requerimientos | |
| Disponibilidad de agua | Disponibilidad de agua intermitente Flujo de agua insuficiente Bebedores inapropiadamente ubicados Bebedores inapropiadamente diseñados Número de bebederos insuficiente |
| Calidad del agua | Excesiva concentración de minerales Olor/gusto desagradable Excesivas partículas en suspensión Calidad microbiológica pobre |
| Otros factores | Letargia Enfermedad o fiebre |

1.4 Confort ambiental y uso de agua

La temperatura ambiental es uno de los principales factores medioambientales que intervienen en el intercambio de agua, igual que todos los factores que contribuyen a la sensación térmica (humedad, velocidad del aire...).

Para mantener la temperatura corporal constante (38-39 °C) en condiciones de temperatura ambiental alta el animal tiende a incrementar el ritmo de respiración y la frecuencia urinaria; así, de forma indirecta, se produce el aumento de la salida de agua del organismo (figura 3).

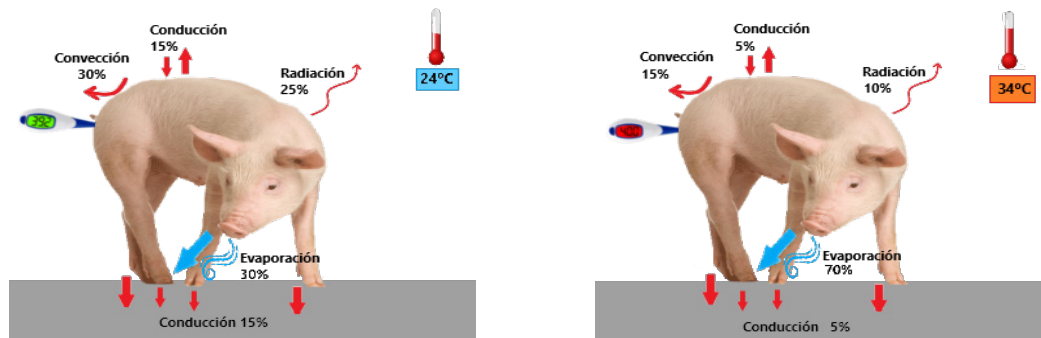


Figura 3. Comportamiento térmico del cerdo en condiciones de frío y de calor (adaptado de Renaudeau et al., 2014).

Tanto la temperatura como la humedad relativa son factores que afectan a la pérdida de agua a través de la respiración, aumentando con el incremento de la primera y disminuyendo al aumentar la segunda. Es conocido que las variaciones de temperatura conducen a cambios en el consumo y uso de agua. Schiavon y Emmans (2000) estimaron que el consumo de los cerdos se incrementa 0,1 l/día por cada grado que aumenta la temperatura ambiente, dentro de una escala que va de 6 a 32 °C. En un ambiente termoneutral, con alimentación seca *ad libitum* y agua a libre disposición, un cerdo de engorde necesita consumir entre 2,1 y 2,7 litros de agua por kilogramo de pienso (Mount *et al.*, 1971; Li *et al.*, 2005; Shaw *et al.*, 2006). Sin embargo, esta ratio puede duplicarse en condiciones de fuerte estrés térmico (Mount *et al.*, 1971; Huynh *et al.*, 2005).

Las pérdidas de agua por respiración pueden llegar a ser importantes en condiciones de estrés por temperatura elevada. Algunos autores como Holmes y Mount (1967) y Mount *et al.* (1971) determinaron que un cerdo con un peso vivo de 20 y 60 kg en temperatura de termoneutralidad (20 °C) puede perder entre 0,29 y 0,58 litros/día de agua por la respiración.

Las pérdidas de agua a través de la orina también son una forma de perder calor corporal. La magnitud de las pérdidas (entre 0,29 y 3,37 l/día, según datos de la tabla 4) dependerá de la temperatura y cantidad de agua consumida y de la temperatura y cantidad de agua excretada.

Mantener al animal en una zona de confort de temperaturas (zona termoneutra), de humedad y de velocidad del aire permitirá reducir el uso global y las pérdidas innecesarias de agua en la explotación.

En la tabla 11 se presentan las recomendaciones de algunos autores para garantizar el confort ambiental en granjas de porcino.

TABLA 11. TEMPERATURAS AMBIENTALES RECOMENDADAS (°C) POR DIFERENTES AUTORES PARA CERDOS PRODUCIDOS EN CONDICIONES DE MANEJO NORMALES Y ADECUADAS.

| | Peso (kg) | Forcada (1997) | Jones (1998) | DEFRA (2003) | AWAC (1999) | Lorschy (2005) | Wihttemore (2005) | NFACC Canadá* (2014) |
|------------|-----------|----------------|--------------|--------------|-------------|----------------|-------------------|----------------------|
| Lechones | 2 | 30 | 35 | 25-30 | 27-35 | | 32 | 33-37 |
| | 5 | 25 | 24 | | 24-30 | 28-29 | 28 | |
| Transición | 5 | 28 | 24 | 27-32 | 20-30 | | | 24-30 |
| | 10 | 25 | | 22-27 | | | | |
| | 20 | 22 | | | | 24-26 | 22 | |
| Engorde | 25 | 21 | 20 | 15-21 | 15-30 | 23-24 | 20 | 16-27 |
| | 50 | 18 | | 13-18 | | 16-17 | 18 | |
| | 100 | 16 | | | | 15-17 | 16 | |
| Gestantes | 200 | 18 | 20 | 15-20 | 15-30 | 19-21 | 18 | 10-27 |
| Lactantes | 200 | 20 | 20 | | | 18-20 | 16 | 13-27 |

*Canadá: Code of practice for the care and handling of pigs.

La **temperatura del agua de bebida** también influye en la utilización del agua por parte del animal. Autores como Jeon *et al.* (2006) determinaron que la temperatura del agua afectaba a la ingestión de agua en cerdas lactantes, obteniendo como resultado que a temperaturas del agua de 10 y 15 °C los consumos eran de 38,06 y 38,08 l/día, respectivamente, mientras que a una temperatura del agua de 22 °C los consumos eran significativamente diferentes (31,21 l/día).

Por otro lado, autores como Andersen y Pedersen (2014) también observaron que en cerdas lactantes los consumos del agua dependían de su temperatura, obteniendo consumos de 28,9 l/día en agua refrigerada respecto a los 23,1 l/día de agua a temperatura ambiente.

1.5 Alimentación y uso de agua

El consumo de agua de un animal está positivamente relacionado con **la ingestión de alimento**. En el caso de cerdos en crecimiento y cerdas no lactantes, las necesidades de agua expresadas en peso son aproximadamente el doble de la ingestión de alimento seco (ARC, 1981, en Brooks y Carpenter, 1990).

Brooks, Russell y Carpenter (1984), para el caso de cerdos destetados, publicaron una ecuación que expresa la relación entre el consumo de alimento y la utilización del agua:

$$\text{Consumo de agua (l/día)} = 0,149 + (3,053 \times \text{consumo de alimento seco en kg/día})$$

Se debe tener en cuenta que el animal, para poder satisfacer sus necesidades fisiológicas, precisa satisfacer tanto las necesidades de nutrientes como las necesidades de llenado gástrico. La cantidad y calidad del pienso y la cantidad de agua contribuyen de forma efectiva a ambos tipos de necesidades.

En la práctica de la producción porcina actual, la alimentación *ad libitum* es comúnmente utilizada en transición, crecimiento y cebo. En cambio, la alimentación restringida es más utilizada en reproductores (machos y cerdas en gestación) para evitar su engrasamiento excesivo. En cerdas lactantes, la alimentación tiende a ser *ad libitum* pero controlada para evitar el desperdicio de pienso.

En la tabla 12 pueden verse los resultados obtenidos sobre la cantidad de agua utilizada en relación con la cantidad de pienso consumido, en sistemas de alimentación seca o seco-húmeda. La variabilidad existente (entre 1,5 y 4,7 en crecimiento cebo y entre 2,4 y 8,9 para transición) se debe más a las condiciones ambientales (confort térmico, tipo de alojamiento, bebedero, densidad...) de cada situación que a la variabilidad de las necesidades fisiológicas de los animales. En todo caso, esta variabilidad permite situar la ratio agua/pienso mínimo en valores cercanos a 1,5 para crecimiento cebo y a 2,5 para transición. Hay que tener en cuenta, además, que la ratio agua/pienso se reduce al aumentar la edad de los animales (Mike Brumm y Brumm Swine Consultancy, 2008).

TABLA 12. RELACIÓN ENTRE EL AGUA UTILIZADA Y EL PIENSO CONSUMIDO EN CERDOS ALIMENTADOS CON PIENSO SECO.

| Autor | Sistema de alimentación | Fase de crecimiento | Relación agua utilizada/pienso |
|---------------------------------|--|-------------------------------------|--------------------------------|
| Chimainsky <i>et al.</i> (2019) | Seca | Crecimiento- engorde | 3,1 |
| Tavares <i>et al.</i> (2014) | Seca (comparación bebederos) | Crecimiento- engorde | 3,3-4,7 |
| Álvarez <i>et al.</i> (2013) | Seca (comparación bebederos) | Crecimiento- engorde | 3,1-4,5 |
| NRC (1998, 2012) | Seca | Crecimiento-engorde 20 a 90 kg | Mínimo 2,0 |
| Patience (2012) | Seca (revisión) | Crecimiento- engorde | 2,3 |
| Magowan <i>et al.</i> (2007) | Seca (comparación bebederos) | Transición (de 4 a 10 semanas vida) | 2,4-5,10 |
| Brumm <i>et al.</i> (2008) | Seca (revisión) | Crecimiento- engorde | 1,5-3,3 |
| Saw <i>et al.</i> (2006) | Seca (comparación niveles de proteína y sal, jaula metabólica) | Crecimiento (34 kg) | 2,4-3,1 |
| Ly <i>et al.</i> (2005) | Seca (comparación bebederos) | Crecimiento- engorde | 1,8-2,4 |
| Torrey y Widowsky | Seca (comparación bebederos) | Transición (de 1 a 19 días) | 4,0-8,9 |
| Brumm <i>et al.</i> (2000) | Seca | Crecimiento- engorde | 2,79 |
| Brumm <i>et al.</i> (2000) | Seco-húmeda | Crecimiento- engorde | 1,78 |
| Fremaut (1991) | Seca (jaula metabólica) | Machos de 20-70 kg | 1,43 |

La utilización de fibra para incrementar el efecto volumen de las dietas afecta a la densidad nutritiva de la ración y a la velocidad de tránsito intestinal de esta. Si se intenta diluir la dieta de los animales aumentando el contenido en fibra, se pueden desencadenar problemas en cerdas en lactación o cerdos en crecimiento. Por otra parte, en el caso de los reproductores con alimentación racionada (machos o cerdas gestantes), puede proporcionarles sensación de saciedad, y, así, reducir los consumos de agua por parte del animal para este fin, tal como se desprende de los resultados presentados en la tabla 13.

TABLA 13. VALORES MEDIOS Y DESVIACIONES ESTÁNDAR DE LA UTILIZACIÓN DE AGUA, MASA DE ORINA Y HECES, MASA DE PURINES Y RATIO ORINA/HECES PARA CERDAS GESTANTES ALIMENTADAS CON TRES DIETAS CON DISTINTOS NIVELES DE FIBRA (MASSÈ *ET AL.*, 2003).

| Dieta | Muy alta en fibra | Alta en fibra | Control |
|------------------------|-------------------|---------------|--------------|
| Consumo de agua (l/d) | 12,59 ± 5,91 | 14,86 ± 9,07 | 15,22 ± 7,08 |
| Masa de orina (kg/d) | 5,24 ± 5,29 | 9,25 ± 7,74 | 11,40 ± 7,12 |
| Masa de heces (kg/d) | 6,74 ± 1,58 | 3,99 ± 1,16 | 1,60 ± 0,82 |
| Masa de purines (kg/d) | 10,16 ± 2,94 | 11,98 ± 9,34 | 12,37 ± 8,06 |
| Ratio orina/heces | 0,77 ± 0,32 | 2,30 ± 1,45 | 7,89 ± 4,83 |

El nivel de sal y de proteína también puede influir en la demanda y uso de agua por parte del animal. A nivel de ejemplo, en la tabla 14 pueden verse los resultados obtenidos por Shaw *et al.* (2006) al estudiar el balance de agua en cerdos en crecimiento (34 kg peso vivo). Estos resultados ponen de manifiesto que un nivel de proteína muy alto puede suponer un incremento de agua de bebida del 14% y un incremento de la excreción de agua en la orina del 11%. El uso de niveles muy altos de sales minerales aumentó la ingesta de agua en un 11% y la excreción de orina en un 5%. En este caso, el exceso de proteína y sales minerales llegó a afectar de forma negativa al consumo de pienso diario.

La forma de presentación (harina, gránulo...) y el nivel de humedad (seco, húmedo, seco-húmedo, líquido...) del alimento también son importantes y pueden influir en el agua utilizada por los animales. El porcentaje de humedad del alimento en seco oscila entre el 8 y el 12%.

En el caso de la presentación del alimento en seco, en forma de harina se produce un mayor consumo de agua en los animales que si la forma de presentación es en gránulos (Laitat *et al.*, 1999ab; Laitat *et al.*, 2000).

TABLA 14. EFECTO DEL NIVEL DE PROTEÍNA Y DEL CONTENIDO DE MINERALES EN EL BALANCE DIARIO DE AGUA EN CERDOS EN CRECIMIENTO (SHAW *ET AL.*, 2006).

| | Nivel de proteína | | | | p-value |
|--------------------------|-------------------|------|----------|------------------|---------|
| | Bajo | Alto | Muy alto | Alto + minerales | |
| | 17,8 | 21,4 | 25,4 | 20,4 | |
| Ingestión | | | | | |
| Bebida | 5,5 | 4,9 | 6,26 | 5,89 | 0,057 |
| Alimento | 0,19 | 0,19 | 0,20 | 0,20 | 0,621 |
| Excreción | | | | | |
| Heces | 0,29 | 0,29 | 0,31 | 0,32 | 0,017 |
| Orina | 2,84 | 2,49 | 3,42 | 2,61 | 0,068 |
| Relación agua/ pienso | 2,5 | 2,46 | 3,14 | 2,66 | 0,010 |

En el caso de la alimentación líquida, que consiste en una mezcla de alimento y agua (70-80% de agua), se impone al animal una ingesta mínima de agua al consumir el alimento. Este manejo parece coherente en la medida en que el 75% de la ingesta de agua ocurre durante los períodos de alimentación (Bigelow y Houpt, 1988).

Si bien la alimentación líquida es un sistema minoritario en España, es de especial relevancia en países como Italia (Nannoni *et al.*, 2013) o Francia, donde es la forma más común de alimentación en la producción porcina, y dos de cada tres productores tanto de cerdas (Courboulay, 2015) como de cerdos de engorde (Roguet *et al.*, 2007) usan alimentación líquida. Brooks, Beal y Niven, (2001) estimaron en un 30% el censo de cerdos alimentados con este sistema en Europa del Norte y del Este.

Para que los sistemas de alimentación líquida funcionen correctamente, normalmente se necesita una tasa de dilución mínima de 2,5 l/kg. En Francia la ratio en cerdas gestantes va de 2,5 a 4,8 l/kg, mientras que en cerdos de engorde va de 2,4 a 3,2 l/kg, siendo 2,7 l/kg una dilución bastante común (Royer *et al.*, 2007; Roy *et al.*, 2007; Massabie *et al.*, 2014).

Sin embargo, hay algunos estudios (figura 4) que apuntan a la necesidad de agua adicional a la aportada por la dieta en sistemas de alimentación líquida. Gill *et al.* (1987) comprobaron que los animales en fase de engorde seguían bebiendo agua de bebederos externos aun cuando eran alimentados con raciones diluidas en ratios 3,5:1. Si bien es cierto que no se midió el agua desperdiciada, parece que los animales tenían requerimientos de agua superiores a los aportados por la dieta. Cuando se aportaba a los animales un alimento diluido 2,5:1 (similar a la ratio que tendrían cerdos alimentados con pienso seco), los animales del estudio tomaban un 17% del agua total de bebederos externos, de tal manera que la ratio final era de tres litros de agua consumidos por kilogramo de pienso predilución.

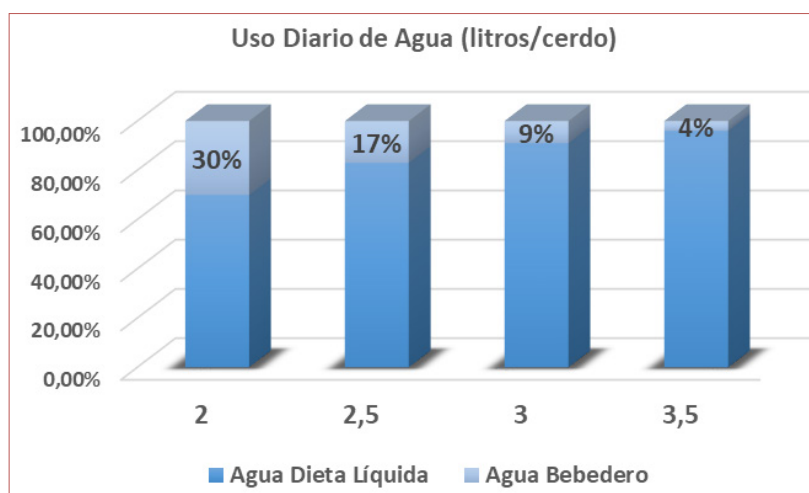


Figura 4. Uso diario de agua (Gill, 1987).

En este estudio no se miraron los consumos individuales, pero parece coherente que pudiera haber diferencias notables en el consumo entre estos. Esta diferencia en los consumos, ya sea por competencia en el comedero, por diferencias en la velocidad de ingesta o por otros factores, puede generar que ciertos animales utilicen más los bebederos externos como mecanismo compensatorio.

Vermeer *et al.* (2009) realizaron un estudio de demanda elástica del agua en bebederos y no vieron diferencias en los grupos de alimentación seca frente a animales con diluciones equivalentes a 2,6 litros de agua por kilogramo de pienso. El grupo de alimentación líquida consumió 0,74 l/día extra de los bebederos (10% del total), lo cual concuerda con otros trabajos (tabla 15).

TABLA 15. USO DEL AGUA¹ EN CERDOS DE ENGORDE ALIMENTADOS CON ALIMENTO LÍQUIDO Y LIBRE ACCESO A UNA FUENTE DE AGUA (ADAPTADO DE VERMEER *ET AL.*, 2009).

| | Paboeuf <i>et al.</i> (2009) | Gill <i>et al.</i> (1987) | Vermeer <i>et al.</i> (2009) | Nannoni <i>et al.</i> (2013) |
|--|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Rango de peso vivo (kg) de los cerdos | 28 a 116 | 15 a 77 | 22 a 115 | 78 a 160 |
| Tamaño de grupo | 43 | 8 | 12 | 5 |
| Ratio dilución (l agua/kg pienso) | 2,2 | 2,5 | 2,6 | 3 |
| Agua del alimento líquido (l/cerdo/día) | 4,5 | 3,73 | 6,44 | 8,9 |
| Agua del bebedero (l/cerdo/día ± SE) | 0,8 | 0,78 (±0,08) | 0,74 ² (±0,74) | 0,76 (±0,41) |
| Agua del bebedero (porcentaje del total) | 15 | 17 | 10 | 8 |
| Agua total usada (l/cerdo/día) | 5,3 | 4,51 | 7,18 | 9,66 |
| Flujo de agua del chupete (l/min) | 1,3 | No aportados | 0,6 | 1,0 |

¹Agua contenida en el alimento líquido y agua utilizada en el bebedero, no necesariamente ingerida.

²Media sobre cuatro flujos de agua diferentes. La fuente de agua fue un chupete con cazoleta.

Algunos autores como Meunier-Salaün *et al.* (2016) determinaron que en una alimentación líquida la cantidad de agua (litros) por kg de pienso variaba en función de la explotación y también de la época del año. En el caso de cerdas gestantes la cantidad de agua recomendada por estos autores sería entre 2,5 l de agua/kg de pienso y 4,8 l de agua/kg de pienso, aunque la cantidad habitual se sitúa en los 4,4 l/kg. Por otro lado, en cerdos de crecimiento-engorde, la cantidad recomendada sería entre 2,4 y 3,2 l/kg de pienso, siendo la cantidad habitual de 2,7 l/kg de pienso. Russell *et al.* (1996) también encuentran que los cerdos alimentados con dieta líquida consumieron un 35% más de agua total que aquellos alimentados con pienso seco durante las cuatro semanas posteriores al destete, perteneciendo un 19% del agua consumida a los bebederos y el restante, a la dieta líquida con dilución 2,5:1.

1.6 Instalaciones y equipos y uso de agua

Algunos factores relacionados con las instalaciones también pueden influir de manera directa o indirecta en uso y el consumo de agua. Entre estos factores encontramos los bebederos, por eso la elección de un buen bebedero es esencial si queremos ahorrar en agua. En el mercado podemos encontrar diferentes tipos de bebedero (chupete, cazoleta, nivel constante...) y se puede seleccionar el bebedero solo o combinarlo con el comedero (tabla 16).

1.6.1 Tipo de bebedero

La elección del tipo de bebedero puede ser determinante para un óptimo uso del agua por parte del animal. Dependiendo de las necesidades de cada tipo de animal y la forma de manejo se deberá seleccionar el bebedero más idóneo. El tipo de bebedero (chupete, cazoleta, bebedero integrado en el comedero) también puede influir de forma significativa en la ganancia media diaria de peso, sin afectar de forma clara ni a la ingestión de pienso ni al índice de conversión.

A la hora de elegir un tipo de bebedero, hay que tener en cuenta las particularidades del animal al que va destinado, la forma de manejo y la eficiencia en el uso del agua (tabla 17).

En **cerdos en transición**, el estudio desarrollado por Patience *et al.* (1997 y 2003) muestra que los cerdos abastecidos con bebederos de chupete usaron aproximadamente un 67% más de agua ($p < 0,01$) que aquellos que bebieron en platos. De todas formas, pueden existir diferencias importantes entre tipos de chupete en el uso que el animal hace del agua. Almond (2002) encuentra que el consumo de agua en animales en fase de transición puede reducirse al utilizar chupetes modelo Arato (1,83 l/día) frente a los chupetes convencionales (2,41 l/día). Torrey y Widowsky (2004) comparan bebederos de chupete y bebederos de cazoleta y encuentran un uso de agua significativamente mayor (120%) para los bebederos de chupete (1,88 l/animal y día) frente al uso en cazoleta (0,85 l/animal y día).

TABLA 16. TIPOLOGÍA Y CARACTERÍSTICAS DE LOS BEBEDEROS DE CHUPETE Y CAZOLETA DISPONIBLES PARA PORCINO.

| Tipo de bebedero | Detalles | Imagen |
|------------------|--------------------------|---|
| Chupete | Pico-pato |  |
| | Difusor unidireccional |  |
| | Difusor multidireccional |  |
| | Bola |  |
| | Lengüeta |  |
| Cazoleta | Cuadrada |  |
| | Redonda |  |

TABLA 17. AHORRO EN LA UTILIZACIÓN DE AGUA CON BASE EN DIFERENTES TIPOS DE BEBEDERO.

| Fase productiva | Comparación | Agua ahorrada (%) | Autores |
|------------------|--|-------------------|-------------------------------------|
| Transición | Chupete/plato | 67 | Patience <i>et al.</i> (1997, 2003) |
| | Chupete normal/Arato | 31 | Patience <i>et al.</i> (1997, 2003) |
| | Chupete pico pato/chupete Arato | 24 | Almond (2002) |
| | Chupete/cazoleta | 54 | Torrey y Widowsky (2004) |
| | Chupete/cazoleta | 32 | MagoWan <i>et al.</i> (2007) |
| Crecimiento-cebo | Chupete normal/suspendido | 13 | Brumm <i>et al.</i> (2000) |
| | Chupete suspendido/cazoleta | 31 | Brumm (1998) |
| | Chupete normal/Arato | 9 | Almond (2002) |
| | Cazoleta/chupete | 10 | Chenard <i>et al.</i> (2005) |
| | Cazoleta/chupete | 29 | Álvarez <i>et al.</i> (2013) |
| | Chupete pico-pato/chupete bola | 35 | McKerreach (2005) |
| | Chupete pico-pato/chupete-bola | 15 | Álvarez <i>et al.</i> (2013) |
| | Chupete normal/ cazoleta | 11 | Chenard <i>et al.</i> (2005) |
| | Chupete pico-pato/bebedero nivel constante | 16 | Predicala y Alvarado (2014) |
| | Chupete normal cazoleta | 11 | Li y Gonyou (2015) |
| Cerdas | Chupete normal/Arato | 21 | Almond (2002) |
| | Bebedero abierto/chupete | 13 | Diblik (1986) |

Magowan *et al.* (2007) comparan dos tipos de cazoleta (redonda y cuadrada) y dos tipos de chupetes (pico-pato y bola) en cerdos desde el destete, a cuatro semanas de edad, hasta la semana décima de vida. No encuentran diferencias en el rendimiento de los animales (GMD (ganancia media diaria de peso), consumo de pienso diario, IC (índice de conversión)). El uso de agua sí se vio afectado de forma significativa por el tipo de bebedero, con valores menores para los bebederos de cazoleta (2,41 l/animal y día) y mayores para los chupetes (3,53 l/animal y día). No se encontraron diferencias ni entre cazoletas ni entre chupetes. Para las cazoletas, los resultados sugieren que puede tener un mayor efecto la posición (dos cazoletas iguales cercanas frente a dos cazoletas iguales separadas) que el tipo de cazoleta. Torrey *et al.* (2008) compararon tres tipos de bebederos: pitorro con cazoleta, pico-pato y bebedero de cazoleta con nivel constante. Observaron que los cerdos con bebederos de pico-pato (1,114 l/cerdo) gastaban más agua que los de cazoleta con nivel (0,295 l/cerdo), y estos más que los de pitorro con cazoleta (0,186 l/cerdo).

Otro factor importante es la familiarización con el sistema de bebida ya en la fase de maternidad. Hay que tener presente que durante los primeros días tras el destete los lechones tienen que pasar de una dieta líquida (leche materna) a una dieta seca, en la mayoría de los casos, lo cual supone un período de

aprendizaje con la consiguiente posibilidad de desperdicio de agua. Según Phillips y Fraser (1991), los cerdos tras el destete descubren antes los bebederos tipo plato que los bebederos de chupete. Bøe y Kjolvik (2011), en un estudio en el que los lechones habían sido familiarizados con los bebederos tipo chupete ya en maternidad, vieron consumos similares de agua con bebederos tipo chupete o de plato en lechones durante la primera semana posdestete.

Para **cerdos en crecimiento-engorde**, algunos autores como Brumm, Dahlquist y Heemstra (2000), Brumm y Heemstra (1999) y Brumm *et al.* (2000) compararon bebederos convencionales sujetos en la pared frente a bebederos de chupete suspendidos en el techo (*swinging nipple*). Observaron que había una reducción del 11% en el agua utilizada y del 16% en la producción de purín en el sistema de chupetes suspendidos en el aire respecto de los bebederos convencionales, sin que hubiera una influencia significativa en los rendimientos productivos. Li *et al.* (2005) comparan bebederos de chupete (altura ajustable o no ajustable) frente a cazoletas y encuentran una reducción en el uso de agua de entre un 2 y un 10% a favor de la cazoleta. Por otro lado, McKerreacher (2005) determinó que usar bebederos con bola podía suponer hasta un 35% menos de desperdicio de agua respecto a los bebederos tipo pico-pato. Autores como Predicala y Alvarado (2014) observaron que el total de agua utilizada era mayor en bebederos tipo pico-pato (8,17 l/día) respecto a los bebederos tipo pico de pato con protección lateral (8,02 l/día), y, a su vez, mayor que en los bebederos de agua a nivel constante con protecciones laterales (6,7 l/día). No obstante, cabe destacar que un mayor uso de agua en general lleva también asociado un mayor desperdicio de esta, ya que las pérdidas de agua fueron de 3,77 l/día, 3,57 l/día y 1,27 l/día, respectivamente.

En el caso de **las cerdas gestantes**, Almond (2002) realizó un seguimiento durante 52 semanas estudiando la utilización de tres tipos de bebederos en diferentes granjas: chupete (modelo Arato), comedero con bebedero incorporado y chupete convencional. Los resultados indicaron que los animales que utilizaron una media diaria de agua más elevada fueron los de los comederos con bebedero incorporado (24,55 l/cerda y día), seguidos de los de chupete (13,45 l/cerda y día) y, finalmente, los del chupete modelo Arato (11,13 l/cerda y día).

En el caso de las **cerdas lactantes**, algunos autores como Diblik (1986) observaron que el consumo de agua era mayor en cuencos o superficies abiertas (13,6 y 14,1 l/día), seguidos de los bebederos chupete (12,4 l/día), y, finalmente, el de menor consumo era el sistema con un tubito donde el animal debía succionar (10,8 l/día). Otros autores como Almond (2002) observaron cómo los chupetes tipo Arato-80 frente a un chupete convencional obtenían valores inferiores en consumo, 20,6 l/día y 27,8 l/día, respectivamente. Devant (2003) evaluó el efecto del tipo de bebedero (válvula automática con nivel constante de 5 cm de agua en el comedero, chupete encima del comedero, cazoleta-chupete fuera del comedero a 10 cm del suelo) sobre los resultados productivos y la utilización de agua y consumo de alimento de cerdas en lactación. Se observó que la media de utilización antes del parto (7 días) y la media de toda la lactación (21 días) fue significativamente superior ($p < 0,01$) en las cerdas que bebían con un bebedero de cazoleta colocado a 10 cm del suelo y separado del comedero (59,9 l/cerda y día), seguidas de las cerdas que bebían con chupetes incorporados en los comederos (29,4 l/cerda y día), y, finalmente, los menores valores se observaron en las cerdas cuyo sistema de bebida mantenía un nivel constante de agua en el comedero (26 l/cerda y día).

1.6.2 Flujo de agua del bebedero (presión y velocidad)

En todos los sistemas de suministro de agua en los que se utiliza un chupete accionado por el animal es necesario ajustar **el flujo de agua (l/minuto)** que se suministra. El flujo de agua depende de la presión (bar, atm, m de agua...) nominal del circuito (presión al inicio del circuito sin movimiento de agua), de la presión de trabajo (presión al final de circuito con movimiento de agua) y del diámetro del orificio de salida (mm). En condiciones de campo, el flujo de agua puede comprobarse utilizando un contenedor graduado para recoger el agua que fluye de los bebederos durante un minuto, luego puede compararse el valor obtenido con los valores recomendados según la edad del cerdo y el tipo de bebedero.

Brooks y Carpenter (1990) indican la necesidad de que el flujo de agua en los bebederos sea suficiente para cubrir las necesidades de agua del cerdo. La mayoría de autores coinciden en que un flujo de agua excesivo conduce a una utilización superior de agua, tanto en lechones (Nienaber y Hahn, 1984, tomado de Brooks y Carpenter, 1990) como en cerdos en crecimiento (Barber *et al.*, 1988) y en cerdas (Leibbrandt *et al.*, 2001; Phillips *et al.*, 1990, citado en Fraser *et al.*, 1993).

Li *et al.* (2005) comparan dos niveles de flujo (0,5 y 1,0 l/min) en cerdos de engorde y encuentran que al aumentar el flujo se incrementan el uso de agua un 25% y el desperdicio de agua, en torno al 8%.

Las recomendaciones en el flujo de agua para bebederos de chupete destinados a los cerdos en sus diferentes fases de producción pueden verse en la tabla 18. En todo caso, estos valores deben considerarse como referencia externa y también deben tomarse en consideración las recomendaciones del fabricante de los bebederos. Además, hay que tener en cuenta la presión de trabajo, sobre todo en transición y en engorde (PISC Report 92 recomienda de 0,85 a 1,0 pascales en transición y de 1,4 a 1,7 pascales en engorde).

TABLA 18. RECOMENDACIONES PARA EL FLUJO DE AGUA (LITROS/MINUTO) EN BEBEDEROS DE CHUPETE SEGÚN EL TIPO DE ANIMAL.

| Tipo de animal | McKeon (1999) | Prairie Swine Center (2000) | See (2001) | Brumm (2008) | Patience (2012) | PISC Report (2012) | DEFRA Inglaterra* | NFACC Canadá** (2014) |
|---------------------------|---------------|-----------------------------|------------|--------------|-----------------|--------------------|-------------------|-----------------------|
| Transición | 0,5-0,8 | <0,5 | | 0,2-0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5-1 | 0,5-1 |
| Crecimiento cebo | 1,0 | <0,5 | 0,7-1 | 0,5-1 | 0,75 | 1 | 1- 1,5 | 0,5-1 |
| Cerdas gestantes y machos | 2-2,5 | <0,5 | | 1 | | 1 | 2 | 0,5-1 |
| Cerdas lactantes | 3 | <1 | | 1 | 1,5 | 2 | 2 | 1-2 |

*Inglaterra: Code of practice for the welfare of pigs (Consultation draft).

**Canadá: Code of practice for the care and handling of pigs (2014).

Autores como Parera *et al.* (2016) ponen de manifiesto que, dependiendo del tipo de bebedero, la presión y velocidad del agua pueden variar, por eso en el momento de la selección del bebedero se deben tener también en cuenta los parámetros anteriores y la fase productiva de los animales.

1.6.3 Influencia de la altura y posición del bebedero en el desperdicio de agua

Para facilitar el uso eficiente del agua por parte de los animales es necesario que la altura y posición del bebedero (chupete, cazoleta...) se adapten a la anatomía del animal en función de su edad y fase fisiológica. En la práctica, esto supondría cambiar la altura y posición de los bebederos (chupete o cazoleta) a medida que avanza la edad de los animales, y, por tanto, cambian las condiciones anatómicas de estos. Para el caso de los bebederos de chupete habrá que tener en cuenta, además, la inclinación y posible protección de estos (figura 5).

En la figura 6 puede verse un ejemplo de oferta comercial que se plantea este tipo de restricciones.

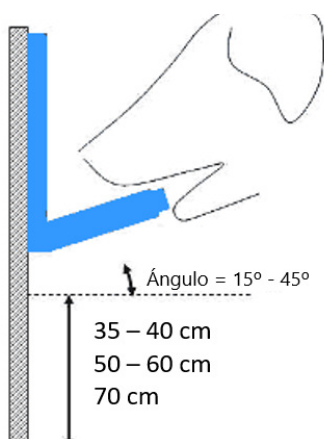


Figura 5. Altura y posición de los bebederos.



Figura 6. Ejemplo de propuesta de instalación de bebederos de chupete.

Autores como Li y Gonyou (2002) determinaron que el uso de bebederos tipo pico-pato, que no se ajustaban a la altura de los animales, podía producir hasta un 40% de pérdidas de agua. Por eso recomendaron que para cerdos de 100 kg la altura óptima fuesen los 73 cm, mientras que para cerdos de 25 kg la altura sería de 48 cm. Li *et al.* (2005) también encuentran un mayor uso de agua, mayor desperdicio y mayor producción de purín al comparar chupetes de altura fija frente a chupetes de altura ajustable, pero las diferencias no llegaron a ser significativas. Otros autores como Babot *et al.* (2017) encuentran que la altura del bebedero influye sobre la cantidad de agua desperdiciada pero no en el uso del agua.

1.6.4 Utilización de comedero-bebedero, sistema de alimentación seco-húmeda

La utilización de los comederos que integran un dispositivo para el suministro de agua (generalmente un chupete) configura la base de lo que se denomina sistema de alimentación seco-húmeda (figuras 7 y 8).

Este sistema de suministro de alimento sólido y adición de agua en el comedero requiere combinar muchos aspectos de los bebederos (chupete y cazoleta), así como todos los aspectos asociados al tipo de comedero. Este sistema puede influir en el uso de agua y del alimento sólido, sin tener que modificar los resultados de rendimiento de los animales (Magowan *et al.*, 2008).

En cuanto a la producción de purín, Gadd (1988, citado en Brumm, 2002), tras revisar diversas experiencias en granjas, concluyó que la producción de purines puede reducirse hasta un 50% con el uso de comederos seco-húmedo frente al sistema de comedero seco.

En la tabla 19, pueden verse los resultados que diferentes autores han obtenido al comparar los sistemas de comedero seco-húmedo frente a comedero seco. Todos los estudios realizados en la década de los noventa (Brumm *et al.*, 2000; Brumm, 1998; Harmon, 1998; Albar y Granier, 1999; Fleming *et al.*, 1999; Laitat *et al.*, 1999ab; Brumm *et al.*, 2000) presentan ventajas (reducción de entre el 20 y 30%) en el consumo de agua al utilizar comederos con sistema seco-húmedo frente al comedero de alimentación seca. Estas ventajas, en la mayoría de casos, llevan a una reducción en la producción de purín, sin perjuicios en el rendimiento de los animales (Pluske y Williams, 1996; Gonyou y Lou, 2000; Barnes, Snedegar y Rozeboom, 2000).



Figura 7. Tolva de acceso múltiple con dos chupetes (<https://porinox.com/categoria-producte/tolvas/tolvas-wean-to-finish/>).



Figura 8. Tolva circular con chupete (<https://tiendagadnadera.com/Comederos-y-tolvas-cerdos>).

TABLA 19. UTILIZACIÓN DE AGUA Y PRODUCCIÓN DE PURÍN DIARIO OBTENIDOS CON EL COMEDERO SECO-HÚMEDO Y EXPRESADA EN PORCENTAJE FRENTE AL COMEDERO SECO.

| Autores | Utilización de agua | Producción de purines |
|--|---------------------|-----------------------|
| Brumm <i>et al.</i> (2000), Brumm, (1998) y Brumm <i>et al.</i> (2000) | -25,6 | -31 |
| Harmon (1998) | -17,2 | |
| Albar y Granier (1999) | -21 | |
| Fleming <i>et al.</i> (1999) | -30 | +24 |
| Laitat <i>et al.</i> (1999ab) | -23 | |

Los estudios realizados a partir del año 2000 concentran los esfuerzos en analizar la influencia de la alimentación seco-húmeda sobre el rendimiento de los animales. Bergtrom *et al.* (2010), trabajando con cerdos en crecimiento-cebo, encuentran mejoras en la ganancia media diaria y en el consumo de pienso diario para el sistema seco-húmedo (en relación con la alimentación seca), sin encontrar diferencias en el índice de conversión. Nitikanchana *et al.* (2011) encuentran mejoras en la ganancia media diaria de peso cuando los cerdos son alimentados con pienso seco en transición y con sistema seco-húmedo en engorde. Nitikanchana *et al.* (2012), Wastell *et al.* (2018) y Lawlor y O'Meara (2018) confirman las ventajas de la alimentación seco-húmeda en GMD y consumo de pienso diario, sin variación significativa para IC. En el estudio realizado por Nitikanchana *et al.* (2012), el índice de conversión para el sistema seco-húmedo empeoró en transición y mejoró en engorde respecto a la alimentación en seco. En cambio, en el estudio de Lawlor y O'Meara (2018) el índice de conversión mejoró de forma significativa con la alimentación seco-húmeda. Álvarez *et al.* (2015) determinaron que si en el sistema de comedero seco-húmedo se utilizaba un punto suplementario de bebida, esto suponía un incremento de 2 l/día de agua y 1 l/día de incremento del volumen del purín.

1.6.5 Dinámica y consumo individual de agua en animales de engorde

En los apartados precedentes se han presentado datos referentes al uso-consumo promedio en las diferentes fases de producción y se ha puesto de manifiesto que este depende de la fase fisiológica en que se encuentre cada animal, y por un conjunto de factores como la temperatura ambiental, el nivel de competencia en las fuentes de agua (Turner *et al.*, 1999), la dieta (Mroz *et al.*, 1995; Vermeer *et al.*, 2009), el manejo en el bebedero (Vermeer *et al.*, 2009), procesos patológicos y otros de factores que alteran la normalidad fisiológica de los cerdos. En este punto nos proponemos analizar si estos factores también afectan a la dinámica de consumo temporal (diario u horario) de agua y en qué medida la dinámica de consumo aporta información complementaria (alarmas técnicas o sanitarias) para optimizar el uso del agua.

Las tres variables habitualmente utilizadas para caracterizar el patrón de uso-ingesta de agua serían el número de visitas al bebedero, duración de cada visita y la cantidad de agua usada (desaparecida en el bebedero). Para poder caracterizar dicho patrón, es necesario usar una metodología en la que se iden-

tifiquen los comportamientos individuales. La identificación de los animales mediante radiofrecuencia parece una solución coherente. Otra opción puede ser el análisis de imagen mediante la observación a través de *software* de seguimiento o mediante análisis de grabaciones convencionales (si bien este último método limita el período de seguimiento).

Andersen *et al.* (2014) utilizaron bebederos a los que incorporaban un lector RFID (Allflex Denmark ApS) y un contador de agua mediante pulsos (RS 257–149; RS Components A/S, Copenhagen, Denmark; flow range 0.25 to 6.5 l/min, \pm 1.0%). De esta manera podían leer tiempos de permanencia y tomar medidas del agua utilizada cada segundo. Además, validaron los registros mediante grabación directa y análisis visual posterior del comportamiento de los animales (cuatro días consecutivos).

Maselyne *et al.* (2016) también utilizaron en su trabajo un sistema de antenas RFID (DTE Automation GmbH, Enger, Germany) en cada bebedero (figura 9). Las cuatro antenas se conectaron a un lector (ID ISC.LR2500-A; Feig Electronic GmbH, Weilburg, Germany) usando un multiplexor (ID ISC.ANT.MUX-A; Feig Electronic GmbH). Los flujos de agua se registraron cada segundo mediante contadores (FT210-Turboflow; Gems Sensors & Controls Inc., Plainville, CT, USA) ubicados antes de cada bebedero. Para validar el sistema RFID, estos mismos autores utilizaron el software *Observer 5.0* (Noldus Information Technology; Wageningen, The Netherlands), que, junto con un ordenador portátil, registró la duración de cada visita.

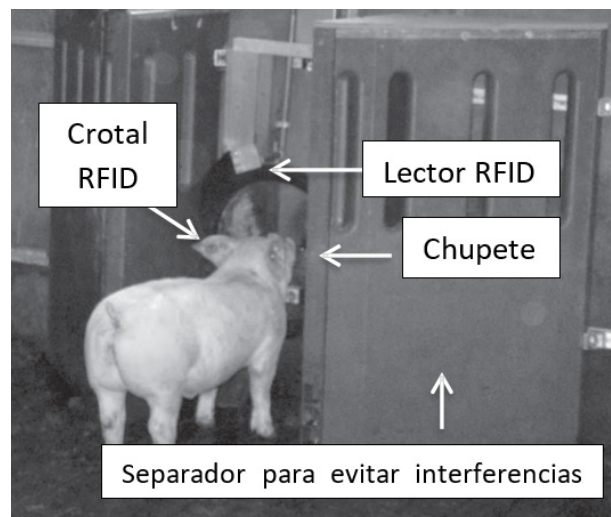


Figura 9. Sistema RFID instalado en torno al bebedero tipo chupete que permite la identificación individual de los animales; RFID = identificación por radiofrecuencia.

La mayoría de estudios se centran en los animales en la fase de engorde, por lo que describiremos los patrones de consumo en dicha fase. Si atendemos al tiempo que pasan los animales bebiendo agua durante el día, Nienaber (1984) apunta a promedios de 3 a 16 minutos por día en los bebederos tipo chupete con flujos de 1,1 l/min a 1,0 l/min. Trabajos más recientes, con herramientas metodológicas

más potentes, observan que en un período de 24 horas el tiempo utilizado por los animales en el bebedero está en torno a 9,3 (Turner, 1999) y 10 (Maselyne *et al.*, 2016) minutos, es decir, un 0,7% del día. Tomando 10 horas de luz diarias, Maselyne *et al.* (2016) concluyeron que los cerdos pasaban 6-8 minutos bebiendo agua (un 1,1-1,4% de su tiempo). Los cerdos de engorde beben, por tanto, dos veces por hora durante el día (18-22 veces en 10 horas) y unas 26- 33 veces durante 24 horas (Maselyne *et al.*, 2016) o hasta 44 veces/día (Andersen *et al.*, 2014).

Respecto al tiempo que pasa un cerdo en cada toma de agua, Maselyne (2016) habla de 28 segundos usando observación visual y de 17 segundos usando medidores de flujo. Andersen *et al.* (2014) encontraron un tiempo promedio de 14 segundos. Turner *et al.* (2000) hablan de 21 segundos y encontraron dependencia en función del tamaño del grupo. Li *et al.* (2005) dieron con un promedio de duración de las visitas de 16 y 26 segundos al comparar entre varias edades y tipos y flujos de bebedero. Estas diferencias entre estudios pueden ser debidas al tamaño del grupo (Turner *et al.*, 2000), al tipo de bebedero (Li *et al.*, 2005), al flujo (Andersen *et al.*, 2014) y al método de medida (Meiszberg *et al.*, 2009).

McDonald *et al.* (1996) y Turner *et al.* (1999) vieron que al aumentar la competencia en torno a los bebederos se redujo el número de visitas, así como el tiempo en cada visita. Sin embargo, estos autores no encontraron diferencias en el agua usada por los animales y afirmaron que los animales fueron capaces de adaptar su velocidad de ingesta. Andersen *et al.* (2014) vieron que el agua total ingerida por los animales aumentaba al dar una única toma de alimento, en lugar de dos. Esto concuerda con los trabajos de Yang *et al.* (1981), que afirmaban que dicho fenómeno era un mecanismo compensatorio para satisfacer la necesidad de saciedad de los animales.

Conocer la dinámica de uso-consumo de agua puede ser de gran ayuda para que los bebederos en los corrales de engorde no sean un punto crítico a nivel de competencia entre animales. El tiempo empleado por cada animal durante el día es relativamente corto y está muy vinculado al momento de la alimentación. Es en este contexto en el que se puede contribuir a garantizar la eficiencia técnica y medioambiental de la producción porcina.

1.7 Manejo de los animales

El manejo de los animales (tamaño del grupo, homogeneidad del grupo, densidad...) en las explotaciones puede influir en el uso del agua. Hacer grupos homogéneos de animales es importante no solo para evitar la competencia entre ellos, sino también para el uso del agua. Hay que recordar que la manipulación del agua por parte de los animales puede ser para saciar sus necesidades hídricas o como entretenimiento.

Algunos autores como Laitat *et al.* (1996) realizaron diferentes estudios para ver cómo influía el tamaño del grupo de animales (30, 40 o 50) en el consumo de agua. Pudieron comprobar que, a mayor tamaño de grupo, se reducía significativamente el consumo diario individual de agua. Con grupos de 30 animales el consumo de agua era de 2,31 l/animal y día mientras que con grupos de 40 animales el consumo era de 1,95 l/animal y día. En cambio, al pasar a 50 animales los resultados no eran significativos. Por

otro lado, si se utilizaba un pienso granulado no se observaban diferencias significativas por ningún tamaño de grupo (1,54, 1,75 y 1,66 l/día, respectivamente).

Turner *et al.* (1999) también realizaron estudios sobre el efecto del tamaño del grupo (20 o 60) y del número de bebederos de chupete por cerdo (1:10 y 1:20) sobre el uso del agua y la influencia sobre los rendimientos zootécnicos. Los resultados mostraron que no había diferencias significativas en la proporción de animales/bebedero, en cambio, sí había un efecto significativo del número de animales por corral.

Landero *et al.* (2013), trabajando con grupos de diferente tamaño (19, 21 o 23 cerdos), a diferente densidad (0,76, 0,69 y 0,63 m²/cerdo, respectivamente), y con 1 o 2 bebederos por corral, encuentran mejora en la GMD e índice de conversión asociados a la existencia de 2 bebederos.

Otros autores como Andersen *et al.* (2014) probaron cómo afectaba el tamaño de grupo (grupos de 3 animales o de 10) en la frecuencia de visitas al bebedero y en la cantidad de agua ingerida y desperdiciada. No observaron diferencias significativas en ninguna de las variables analizadas. Estos autores encontraron que los animales alojados en grupos de 3 usaban y desperdiciaban (4,77 l/animal y día, 33,7% de desperdicio) menos agua ($p < 0,7$) que los animales alojados en grupos de 10 (5,21 l/animal y día, desperdicio del 35,4%). El número de visitas interrumpidas se incrementó ($P > 0,05$) con el número de animales, al aumentar la competencia por el bebedero.

Maselyme *et al.* (2016) analizan el comportamiento de los cerdos en un corral con 55 animales (de 25 a 66 kg de peso) a una densidad de 0,98 m²/cerdo, con 2 comederos (alimentación a voluntad) y 4 bebederos de chupete (0,8 l/minuto; 13,75 animales por bebedero). Ponen de manifiesto que los cerdos van a beber en torno a 4 veces al día, con una estancia media de 30 segundos por visita. Este comportamiento puede modificarse en función de la competencia por el bebedero.

Finalmente, es necesario destacar que el estatus sanitario también condiciona el consumo de agua por parte de los animales. Madsen y Kristensen (2005) observaron un incremento en los consumos de agua en lechones 24 horas antes de que un episodio de diarrea fuera diagnosticado. Sin embargo, los consumos de agua también se pueden ver alterados hacia abajo, con reducciones debidas al estado apático de los animales enfermos, que no acudirán a las fuentes de agua (Junge *et al.*, 2012). De la misma manera, estados febriles generan una pérdida del apetito (Pijpers *et al.*, 1991), lo cual se traduce también en menores consumos de agua, especialmente en animales con dietas líquidas.

1.8 Uso de agua y producción de purín

El tipo de bebedero puede influir también en la cantidad de volumen de purín generado, e incluso en su valor fertilizante.

En cerdos de transición, Torrey *et al.* (2008) encuentran un incremento significativo en el desperdicio de agua al comparar bebederos de chupete (56,1%) frente a bebederos de cazoleta (19,3%). Este incremento del desperdicio del agua debe contribuir al incremento proporcional de la producción de purín.

En cerdos de engorde, el estudio realizado por Álvarez *et al.* (2013) analizaron el efecto de 4 tipos de bebederos (pico-pato, bola, cazoleta redonda o cuadrada) y encontró que los bebederos de cazoleta (cuadrada-redonda) producían de media aproximadamente 6,6 l de purín/cerdo/día en comparación con los bebederos de chupete (pico-pato y bola), con los que la producción era de 10,1 l de purín/cerdo y día. Estos autores, además, determinaron que el purín producido en los corrales con bebederos sin cazoleta presentaba un menor contenido en N amoniacal (-45,6%), N total (-45,3%) y K (-62,8%) que en los corrales con bebederos con cazoleta.

Tavares *et al.* (2014) también estudian el efecto del tipo de bebedero (chupete pico-pato, chupete bola y cazoleta) en cerdos en crecimiento-cebo en Brasil. La producción de purín fue superior con los chupetes bola (4,7 l/cerdo y día) y similar para los chupetes pico-pato (3,74 l/cerdo y día) y cazoleta (3,83 l/cerdo y día). Estos autores no encuentran interacción entre el tipo de bebedero y la estación climática (fría y cálida, entre abril de 2011 y mayo de 2012).

1.9 Calidad del agua

En lo que a calidad se refiere, no nos consta que exista una regulación normativa específica para porcino. Por ello, el principio de precaución nos hace tomar como referencia la reglamentación existente relativa a agua para uso humano, apoyada por las recomendaciones prácticas referentes al ganado porcino que existen en algunos países.

En el RD 140/2003 se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano en España. Con base en estos criterios resaltamos algunos aspectos que consideramos de posible aplicación para garantizar la calidad del agua para porcino.

Autocontrol: el autocontrol de la calidad del agua de consumo para los animales es responsabilidad del gestor de cada una de las partes del abastecimiento y velará para que uno o varios laboratorios realicen los análisis necesarios.

Parámetros mínimos de control a la salida a nivel de bebedero:

- a) Olor.
- b) Sabor.
- c) Color.

- d) Turbidez.
- e) Conductividad.
- f) pH.
- g) Amonio.
- h) Bacterias coliformes.
- i) *Escherichia coli* (*E. coli*).
- j) Cobre, cromo, níquel, hierro, plomo u otro parámetro, cuando se sospeche que la instalación interior tiene este tipo de material instalado.
- k) Cloro libre residual y/o cloro combinado residual: cuando se utilicen cloro o sus derivados para el tratamiento de potabilización del agua.

A nivel **organoléptico**, el agua de bebida debe ser incolora (máximo 15 mg/l Pt/Co), inodora (3 a 25 °C índice de dilución) e insípida (3 a 25 °C índice de dilución) y con un nivel de turbidez (contenido de sólidos en suspensión) que no supere las 5 UNF (unidad nefelométrica de formacina).

Los **criterios físico-químicos** comúnmente más empleados para referirse a la calidad del agua se encuentran resumidos en la tabla 20.

En base en los datos de las diferentes fuentes en la tabla 20 también se establecen los valores objetivo (mínimo y máximo) que considerar a la hora de determinar la calidad físico-química del agua.

A **nivel microbiológico**, hay que tener presente que el agua puede ser un vector de transmisión de enfermedades y, por tanto, debe considerarse en el programa para establecer la bioseguridad externa de la explotación. En términos generales, hay que poner especial atención en los parámetros microbiológicos que se presentan en la tabla 21.

La calidad del agua es imprescindible mantenerla de forma continuada a lo largo del tiempo, por ello es necesario establecer un protocolo de control y seguimiento. Se propone la realización de análisis periódicos a la entrada del agua en la granja y también a nivel de bebederos (mediante muestreo aleatorio). Como pauta rutinaria puede ser suficiente con realizar un análisis semestral para controlar los parámetros físico-químicos y microbiológicos tanto a la entrada como a nivel de bebedero.

TABLA 20. CRITERIOS FÍSICO-QUÍMICOS PARA REFERIRSE A LA CALIDAD DEL AGUA.

| | Alemania (2000) | Canadá (2004) | España (2003) | Australia (2018) | EPA- EE. UU. (2019) | Valor mínimo | Valor máximo |
|--|--------------------|------------------|------------------|---------------------|---------------------------|-----------------|-----------------|
| | ppm | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l |
| Sólidos disueltos (TDS) | | 3.000 | | | 500 | | |
| pH (unidad de pH) | 5-8 | 6,5-8,5 | 6,5-9,5 | 6,5-8,5 | 6,5-8,5 | 6,5 | 9,5 |
| Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$) | | | 2.500 | | | | 2.500 |
| Amonio (NH_4) | 1 | | 0,5 | | | | 0,5 |
| Nitratos (NO_3) | 25 | 90 | 50 | 50 | 10 | 50 | 100 |
| Nitritos (NO_2) | 0,1 | 10 | 0,1 | 3 | 1 | 0,1 | 0,5 |
| Cloruros | 250 | | 250 | 250 | 250 | | 250 |
| Sodio | 1 | | 200 | 180 | | | |
| Hierro | | | 200 | | | | 200 |
| Manganeso | 1 | | 50 | | | | 50 |
| Sulfato | 100 | 1.000 | 250 | 250 | 250 | | 250 |
| Calcio | | 1.000 | 200 | | | | 200 |
| Aluminio | | 5 | | 0,2 | 0,02 | | |
| Arsénico | | 0,5 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | | 0,01 |
| Berilio | | 0,1 | | 0,06 | 0,004 | | 0,06 |
| Boro | | 5 | 1 | 4 | | | |
| Cadmio | | 0,02 | 0,005 | 0,002 | 0,005 | | 0,005 |
| Cromo | | 1 | 0,05 | 0,05 | 0,1 | | 0,05 |
| Cobalto | | 1 | | | | | |
| Cobre | | 5 | 2 | 2 | 1 | | 2 |
| Flúor | | 2 | 1,5 | 1,5 | 4 | | 1,5 |
| Plomo | | 0,1 | 0,01 | 0,01 | 0,015 | | 0,01 |
| Mercurio | | 0,003 | 0,001 | 0,001 | 0,002 | | 0,001 |
| Molibdeno | | 0,5 | | | | | |
| Níquel | | 1 | 0,02 | 0,02 | 0,05 | | 0,02 |
| Selenio | | 0,05 | 0,01 | 0,01 | | | 0,01 |
| Uranio | | 0,01 | | 0,017 | 0,03 | | 0,01 |
| Zinc | | 50 | | 3 | 5 | | 5 |

TABLA 21. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS QUE CONSIDERAR PARA EL AGUA DE CONSUMO (FEDNA, 2013).

| Parámetros obligatorios para agua de consumo humano | |
|--|--------------------|
| <i>Escherichia coli</i> | Ausencia en 100 ml |
| <i>Enterococos</i> | Ausencia en 100 ml |
| <i>Clostridium perfringens</i> | Ausencia en 100 ml |
| Parámetros indicadores para agua de consumo humano | |
| Coliformes totales (37 °C-24 h) | Ausencia en 100 ml |
| Aerobios totales (22 °C-72 h) | 100 UFC/ml |
| Otros parámetros de control | |
| Aerobios totales | 20 UFC/ml |
| Bacterias anaerobias sulfito-reductoras (37 °C-48 h) | Ausencia en 20 ml |
| <i>Salmonella</i> | Ausencia en 100 ml |
| Estreptococos fecales (37 °C-48 h) | Ausencia en 100 ml |

La calidad del agua de las granjas depende en gran medida de la fuente de captación de estas (red urbana, pozos, ríos, pantanos, canales de riego...). Algunas de las fuentes de captación y almacenamiento no garantizan la calidad necesaria para el agua de consumo. Por ello se hace imprescindible el tratamiento antes de que sea suministrada al animal. En la tabla 22 se enumeran los más importantes sistemas de tratamiento, así como sus principales acciones.

TABLA 22. TRATAMIENTO DEL AGUA Y ACCIÓN PRINCIPAL ESPERADA.

| Tratamiento | Acción principal |
|-----------------------------------|--|
| Alguicida | Eliminación de algas |
| Cloro sólido-líquido | Eliminación de microorganismos |
| Dióxido de cloro | Eliminación de microorganismos |
| Ozono | Eliminación de microorganismos |
| Peróxido de hidrógeno | Eliminación de microorganismos |
| Acidificación | Reducción del pH |
| Coagulación | Clarificación del agua eliminando turbidez |
| Desnitratación o desnitrificación | Eliminación de nitratos |
| Descalcificación | Reducción de la cal del agua y su dureza |
| Desferrización simple | Eliminación de hierro y manganeso |
| Filtración | Reducción de materia orgánica y partículas en suspensión |
| Osmosis inversa | Eliminación de minerales, bacterias, microorganismos, impurezas y olores |

A nivel práctico puede ser de gran utilidad disponer de un diagrama de control que nos permita determinar los factores de riesgo y dirigir las decisiones de forma rutinaria o en caso de necesidad (figura 10).

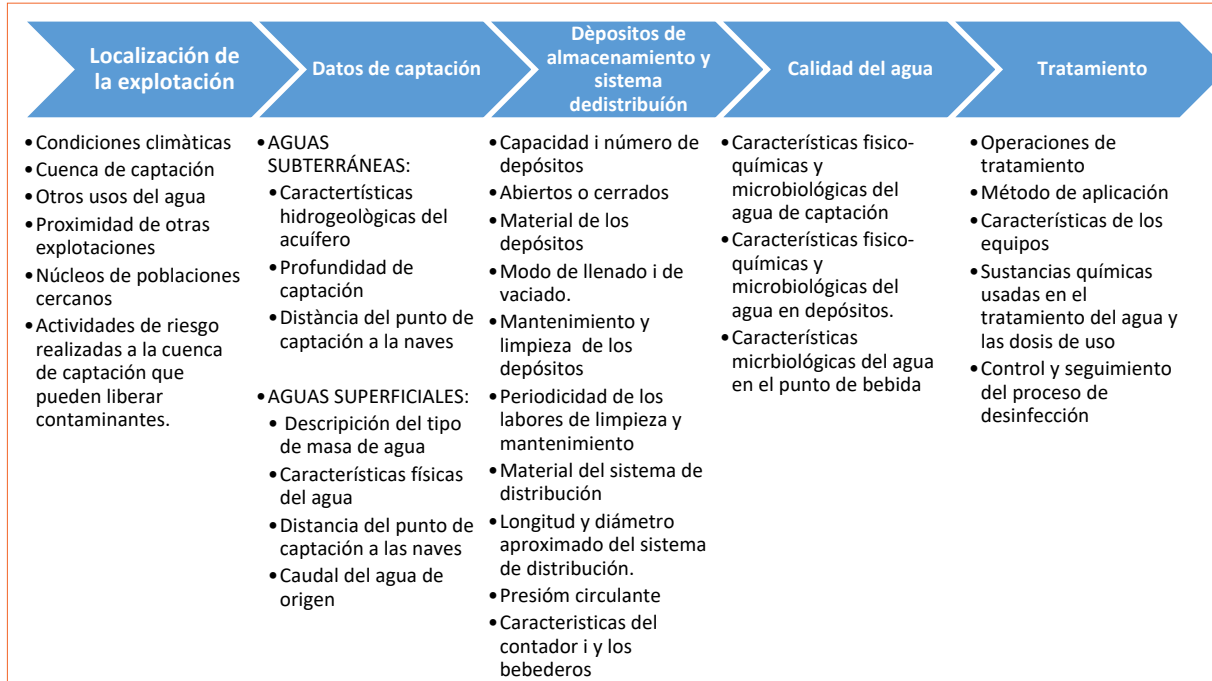


Figura 10. Diagrama de control de los factores de riesgo.

CAPÍTULO 2. OPTIMIZACIÓN DEL USO DE AGUA EN EXPLOTACIONES PORCINAS ESPAÑOLAS

2.1 Circuito de distribución y suministro de agua

Para que el agua pueda llegar al animal es necesario disponer de un circuito de distribución y suministro de esta. Los elementos principales de este circuito, tal como puede verse en la figura 11, son los siguientes:

- Depósito.
- Contador de agua.
- Equipo de filtrado.
- Regulador de presión.
- Manómetro.
- Equipo de dosificación.
- Tuberías de distribución.
- Bebederos.

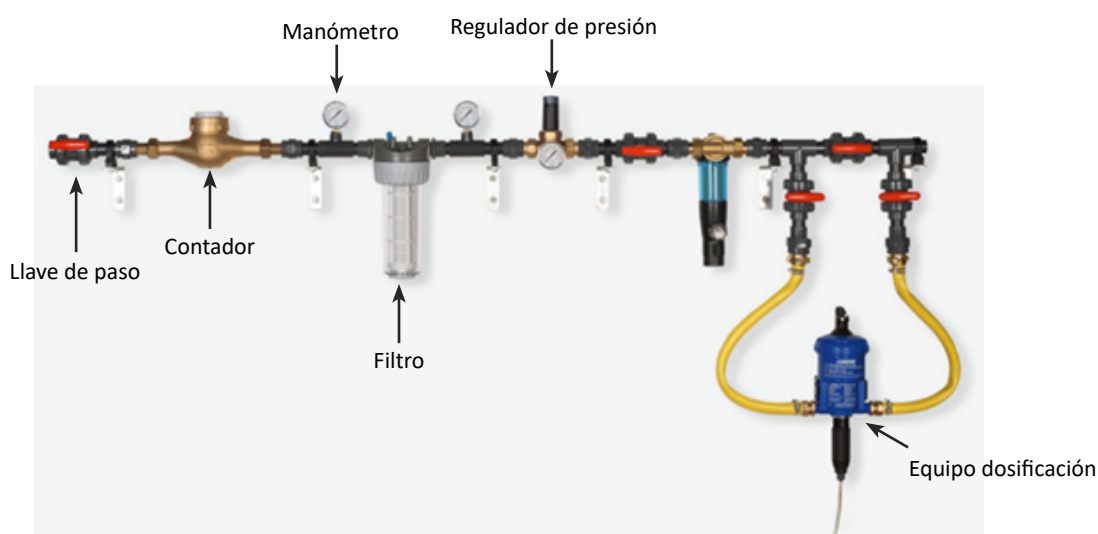


Figura 11. Elementos indispensables en el circuito de distribución de agua de la explotación porcina.

Aunque todos los elementos son importantes, para una adecuada gestión del agua en la explotación hay que poner especial atención en los bebederos y en los sistemas de regulación (regulador de presión y manómetro) y en los sistemas de control (contadores de agua).

La elección del tipo de bebedero en la explotación porcina y su adecuada instalación (ubicación, ángulo, altura y presión del circuito de agua) pueden tener un efecto directo en los índices productivos, en los consumos de agua (uso y desperdicio) y en el volumen de purines a gestionar. En definitiva, una adecuada instalación del circuito de agua de bebida de la explotación (figura 11), que tiene un bajo coste porcentual respecto al total de las instalaciones de la explotación, puede llegar a representar un ahorro importante de los costes variables de esta (ahorro en consumo de agua y en la gestión de los purines).


Los tipos de chupetes más comunes que actualmente hay en el mercado son los de pitorro con difusor multidireccional (elemento 1 de la tabla 23), los de pitorro con difusor unidireccional (elemento 2), los pico-pato (elemento 3), de bola (elemento 4), de cilindro (elemento 5) y de lengüeta (elemento 6). Debido al diseño de los cuatro últimos (pico-pato, bola, cilindro y lengüeta), el cerdo se ve obligado a introducir el chupete dentro de la boca, dificultando la pérdida de agua. En cambio, con el sistema pitorro, solamente con el movimiento del hocico, ya se posibilita la salida el agua, implicando la necesidad de ubicarlos correctamente en una cazoleta o en el plato del comedero para que la pérdida de agua sea menor.

TABLA 23. DIFERENTES TIPOLOGÍAS DE CHUPETES.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
|  |  |  |  |  |  |
| Pitorro multidirección (1) | Pitorro unidirección (2) | Pico-pato (3) | Bola (4) | Cilindro (5) | Lengüeta (6) |

Hay que tener en cuenta que la funcionalidad de los chupetes depende del diseño externo, de los elementos tecnológicos que lo componen y de la regulación de estos. Los chupetes se componen de diferentes piezas, algunas de las cuales son comunes en todos ellos. Todos disponen de un pitorro, un muelle y una carcasa. El diseño de estas tres piezas varía según tipo y modelo. La mayor parte de los bebederos también disponen de filtro, y, algunos de ellos, de algún sistema de regulación. En la tabla 24 se muestran las diferentes partes que componen un chupete.

TABLA 24. EJEMPLO DE LAS DIFERENTES PIEZAS QUE COMPONEN UN BEBEDERO DE CHUPETE.

| | | | |
|--------|---|---|---|
| Pieza | Global | Cabeza y filtro | Goma |
| Imagen |  |  |  |
| Pieza | Pitorro | Muelle | Carcasa |
| Imagen |  |  |  |

Dependiendo de la tipología y de la casa comercial, la fuerza del muelle de los chupetes puede variar. La fuerza encontrada en el muelle está entre 0,28 kp y 12,9 kp en la deformación de trabajo (Parera *et al.*, 2013). La fuerza del muelle viene determinada por la posición de la rosca que lo mantiene sujeto. Hermida *et al.* (2011) cuantifican variaciones de caudal importantes en función de la posición de la rosca (posición mínima, media y máxima), tal como puede verse en la tabla 25.

TABLA 25. CAUDAL DE LOS BEBEDEROS TIPO CHUPETE EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DE LA ROSCA A UNA PRESIÓN DE TRABAJO DE 1 BAR.

| Caudal medio (l/min) ± SD | | | |
|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Tipo | R min. | R med. | R máx. |
| Pico-pato | 3,14 ± 0,10 ^b | | 2,80 ± 0,11 ^a |
| Difusor multidireccional | | 0,65 ± 0,06 ^b | 1,23 ± 0,03 ^c |
| Pitorro corto | 3,83 ± 0,11 ^a | 2,63 ± 0,23 ^a | 2,37 ± 0,39 ^b |
| Tipo bola | | 0,98 ± 0,03 ^c | 0,67 ± 0,02 ^d |

a, b, c, d Letras distintas significan diferencias significativas (P<0.05).

Los sistemas de regulación basan su funcionamiento en la generación de pérdidas de carga en la entrada de agua de los chupetes de forma que repercute en la variación del caudal de salida. La mayor

parte de chupetes incorporan uno o varios orificios con diferentes diámetros que permiten seleccionar la presión y el caudal de salida.

Hermida *et al.* (2011) presentan los resultados obtenidos con un chupete pitorro regulado con diferentes diámetros de salida (tabla 26). Para la presión de 1 bar el caudal pasa de 1,27 l/min a 3,31 l/min (incremento del 160%) al aumentar el diámetro de salida de 1 a 3 mm. Para la presión de 0,5 bares el caudal pasa de 0,49 l/min a 1,84 l/min (incremento del 275%) al aumentar el diámetro de salida de 1 a 3 mm.

TABLA 26. CAUDAL DEL CHUPETE DE PITORRO CORTO ANCHO (11) SEGÚN EL DIÁMETRO DE SALIDA (\emptyset) Y LA PRESIÓN DE AGUA (P).

| Caudal medio (l/min) | | |
|---|------------------------------|------------------------------|
| \emptyset mm | P = 1 bar | p = 0,5 bar |
| $\emptyset = 1$ mm | 1,27 \pm 0,05 ^c | 0,49 \pm 0,04 ^c |
| $\emptyset = 2$ mm | 2,29 \pm 0,06 ^b | 1,41 \pm 0,07 ^b |
| $\emptyset = 3$ mm | 3,31 \pm 0,07 ^a | 1,84 \pm 0,13 ^a |
| a,b,c, Letras distintas significan diferencias significativas (P<0.05). | | |

La gran variedad de sistemas y casas comerciales de bebederos que hay en el mercado hace que sea fundamental realizar una caracterización de estos para que el sector pueda disponer de la suficiente información y escoger aquel sistema que se adapte mejor a su explotación.

Tal como ya se ha comentado al inicio de este apartado, también se hace fundamental conocer con precisión el agua usada-consumida utilizando equipos adecuados de medición. El registro del consumo de agua en una granja y en sus diferentes salas puede ser una herramienta para regular los equipos de dosificación de agua, detectar fugas, alteraciones fisiológicas de los animales o incluso para informar sobre la huella hídrica de cada granja, cuestión que algunos grandes clientes están comenzando a demandar.

Sin embargo, no todas las granjas disponen de una red de contadores, y son pocas las que incorporan contadores adecuados a las condiciones del sistema correctamente instalados y a los cuales sacan un valor añadido.

El primer punto que tener en cuenta a la hora de seleccionar un contador es atender a sus especificaciones técnicas. La principal variable en la dinámica de los fluidos de un circuito de agua es el caudal, entendido como la cantidad de fluido que circula a través de una sección de un conducto por unidad de tiempo, expresada comúnmente en litros/minuto, litros/hora o en metros cúbicos/hora. Tal como se muestra en la figura 12, a la hora de analizar la funcionalidad de un contador podemos diferenciar varios tipos de caudal (Q):

- Caudal de arranque (Qa): a partir del cual el contador comienza mecánicamente a registrar paso de agua (inicio de movimiento de los engranajes internos).
- Caudal mínimo (Q1): es el caudal a partir del cual, y hasta llegar al caudal de transición, el error del contador no debe superar el $\pm 5\%$.
- Caudal de transición (Q2): es el caudal a partir del cual, y hasta el caudal máximo, el error del contador no debe superar el $\pm 2\%$.
- Caudal permanente o nominal (Q3): es el valor máximo de caudal dentro de las condiciones nominales de funcionamiento, para el que se requiere que el contador funcione de una manera satisfactoria dentro del error máximo permitido. A este caudal, generalmente, el fabricante garantiza que el contador puede trabajar ininterrumpidamente. Es la mitad del caudal máximo.
- Caudal de sobrecarga (Q4): es el caudal al cual el contador debe poder funcionar sin deterioro durante períodos de tiempo limitados. Es decir, es el valor para el cual puede funcionar de forma excepcional manteniendo el error de medición dentro de los errores máximos permitidos y recuperando su funcionalidad cuando posteriormente retorna a las condiciones normales de operación.

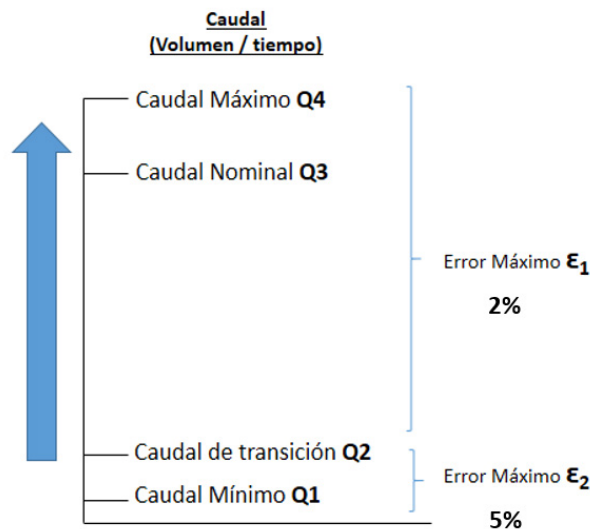


Figura 12. Esquema de los diferentes niveles de caudal que tener en cuenta en la funcionalidad de un contador de agua.

Se define el rango dinámico (R) de un contador de agua como la ratio o relación entre el caudal nominal ($Q3$) y el caudal mínimo ($Q1$). Dicho de otra manera $R = Q3/Q1$. Como vemos, $Q3$ y $Q1$ no son los caudales máximos y mínimos absolutos, sino que son aquellos para los cuales el contador realiza una medición con la precisión establecida por el fabricante. Esta precisión, que se define con base en el



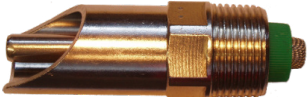

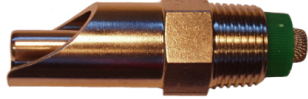
error de medición, es la diferencia entre el volumen medido por el contador y el realmente consumido. El error puede ser así:

- ϵ_1 , error máximo permitido 1. La normativa en materia de metrología divide el rango de caudales en dos bandas. Cada una de ellas tiene un error máximo permitido diferente. La zona situada entre el Q1 (caudal mínimo) y el Q2 (caudal de transición) tendría un error máximo permitido igual a $\pm 5\%$ (ϵ_1).
- ϵ_2 , error máximo permitido 2. La segunda zona situada entre el Q2 (caudal de transición) y el Q4 (caudal máximo) tendría un error máximo permitido igual a $\pm 2\%$ (ϵ_2).

De esta manera, una buena concordancia entre el caudal permanente (Q3) o nominal del circuito con respecto al especificado por el contador y un adecuado rango dinámico (R), que nos dará una idea de la precisión del contador con caudales bajos, determinará la precisión del registro de agua en nuestra granja.

2.2 Caracterización de bebederos a nivel de laboratorio

En los trabajos realizados por Babot *et al.* (2015) y Parera *et al.* (2016, 2017), se han caracterizado veintitrés tipos de chupetes (figura 13 y tabla 27), agrupándolos en cuatro grupos (pitorro, pico-pato, bola y cilindro). Uno de los puntos que se han analizado es el efecto de la presión del circuito del agua en el caudal de salida del bebedero. También se ha descrito cómo afectan al caudal las pérdidas de carga y de presión que se producen a lo largo del circuito de agua.

| Chupete | Codificación | Tipo | Imagen |
|---------|--------------|-----------|--|
| 1 | T1-pa | Pico-pato |  |
| 2 | T2-pi | Pitorro |  |
| 3 | 3t3-1-pa | Pico-pato |  |
| 4 | 3t3-2-pa | Pico-pato |  |
| 5 | 3t3-3-pa | Pico-pato |  |

| Chupete | Codificación | Tipo | Imagen |
|---------|--------------|-----------|--|
| 6 | 3t3-4-pa | Pico-pato |  |
| 7 | 3t3-5-pa | Pico-pato |  |
| 8 | 3t3-6-pa | Pico-pato |  |
| 9 | 3t3-7-pa | Pico-pato |  |
| 10 | AG1-bo | Bola |  |
| 11 | MKM | Pitorro |  |
| 12 | MKM2 | Pitorro |  |
| 13 | MKF | Pitorro |  |
| 14 | Ci | Cilindro |  |
| 15 | 2110 HP | Bola |  |
| 16 | 2111 LP | Bola |  |
| 17 | 2112 AFC | Bola |  |
| 18 | 2310 HP | Pico-pato |  |




| Chupete | Codificación | Tipo | Imagen |
|---------|--------------|-----------|--|
| 19 | 2311 LP | Pico-pato |  |
| 20 | 2312 AFC | Pico-pato |  |
| 21 | 3110 HP | Pitorro |  |
| 22 | 3111 LP | Pitorro |  |
| 23 | 3112 AFC | Pitorro |  |

Figura 13. Tipos de bebedero de chupete analizados a nivel de laboratorio.

TABLA 27. NÚMERO DE BEBEDEROS POR MODELO Y NÚMERO DE REPETICIONES REALIZADAS EN LAS PRUEBAS DE CARACTERIZACIÓN EN EL LABORATORIO.

| | Tipo de bebedero | | | |
|----------------------------|------------------------|-----------|------|----------|
| | Pitorro multidirección | Pico-pato | Bola | Cilindro |
| N.º de chupetes analizados | 7 | 11 | 4 | 1 |
| N.º de repeticiones | 5 | 5 | 5 | 5 |

2.2.1 Influencia de la presión nominal del tipo de bebedero sobre el caudal

Cuando se analiza el caudal (l/min), a un nivel de presión nominal constante, el caudal medio de los chupetes (pitorro, pico-pato, bola o cilindro) varía significativamente (tabla 28).

Los bebederos tipo cilindro ofrecen como media un caudal de 1,09 litros por minuto, seguidos de los chupetes tipo pico-pato, donde el caudal de salida es de 1,66 l/min. Los chupetes de pitorro y bola tienen un caudal de salida superior a 2,40 l/min, siendo los chupetes de pitorro los que ofrecen como media, e independientemente de la presión del circuito de agua, mayor caudal (2,73 l/min.)

TABLA 28. CAUDAL OBTENIDO EN FUNCIÓN DEL TIPO DE BEBEDERO.

| Tipo de bebedero | Media (l/minuto) | Error estándar |
|------------------|------------------|----------------|
| Pitorro | 2,734 a | 0,1047 |
| Bola | 2,417 b | 0,1122 |
| Pico-pato | 1,656 c | 0,0443 |
| Cilindro | 1,095 d | 0,0519 |

Como era de esperar, el caudal de salida de agua del chupete se incrementa a medida que aumenta la presión nominal del circuito de agua. Pero según el modelo, este incremento de caudal es variable (figura 14).

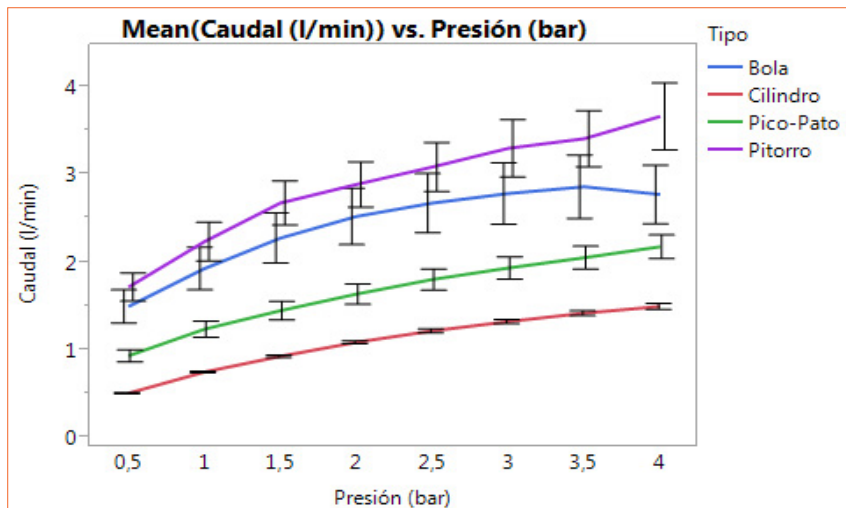


Figura 14. Evolución del caudal en función de la presión de trabajo.

Los chupetes de cilindro son los que dan menos caudal, 0,5 l/min cuando la presión del circuito es de 0,5 bares, y 1,25 l/min cuando la presión del circuito incrementa hasta 4 bares. Por el contrario, en los sistemas con pitorro, el caudal medio con una presión de 0,5 bares fue de 1,75 l/min, llegando a un caudal de 3,25 l/min cuando la presión del circuito de agua fue de 4 bares (figura 15).

Con los chupetes pico-pato, los caudales encontrados se sitúan entre 0,8 y 2 litros/minuto según presión, y con los chupetes de bola, entre 1,5 y 2,5 l/min.

Cuando se profundiza en este análisis teniendo en cuenta la casa comercial y/o modelo, la variabilidad es mayor (figura 16).

Dentro de una misma tipología de chupete, el hecho de que algunos incorporen un sistema de regulación hace que los caudales puedan ser muy diferentes con unas mismas condiciones de presión en el circuito de agua.

Este efecto se observa claramente cuando se analizan, por ejemplo, los diferentes modelos del **sistema de bola**. Ya que, aunque sean de la misma casa comercial, y, por lo tanto, exteriormente muy parecidos, tienen comportamientos diferentes de caudal. Hay modelos preparados para trabajar a altas presiones (modelo O), otros, en cambio, están preparados para trabajar a muy bajas presiones (P y J), ya que a 0,5 bares el caudal supera los 2 l/min (mayor de lo recomendado). Finalmente, el modelo Q mantiene un caudal (1 l/min) constante desde 1 a 4 bares (figura 16).

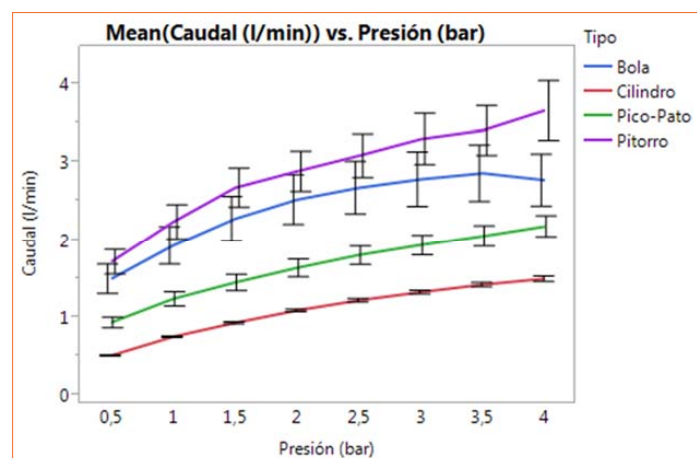


Figura 15. Análisis del caudal (media en l/min) según presión del circuito de agua y tipología de chupete (n = 920).

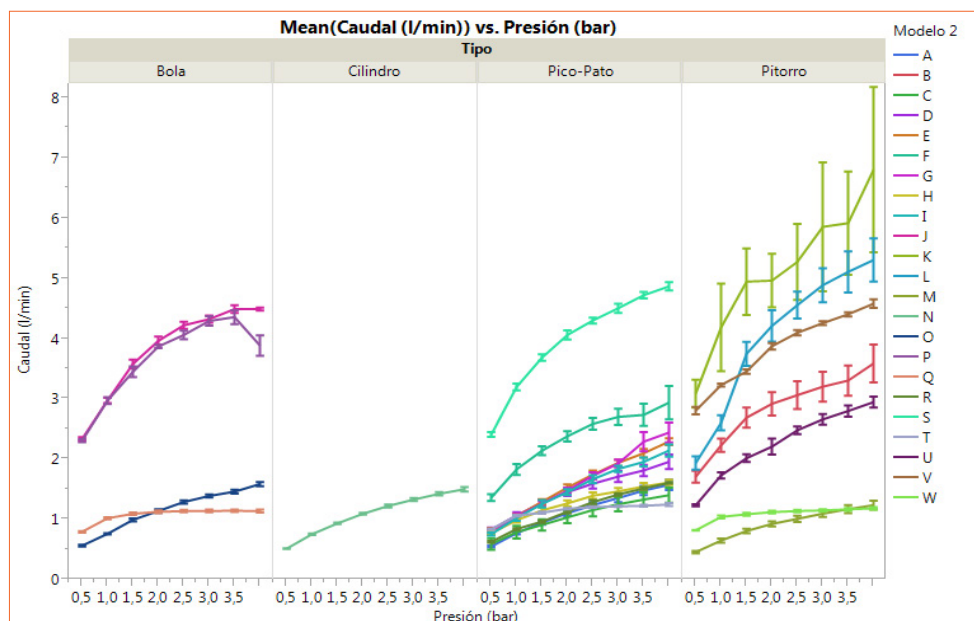


Figura 16. Análisis del caudal (media en l/min) según presión del circuito de agua y tipología de chupete.

Cuando se analiza el efecto de la presión del circuito de agua con el **modelo tipo pato** (11 modelos), se observa que en gran parte de los chupetes analizados el caudal se incrementa con la presión del circuito, entre 0,5 y 0,65 l/min cuando la presión del circuito es de 0,5 bares, y un caudal de entre 0,8 y 2,5 l/min cuando la presión del circuito es de 4 bares.

Hay algún modelo tipo pico-pato con el que los caudales de trabajo (independientemente de la presión de circuito de agua) son significativamente superiores a la mayor parte del grupo. Estos modelos llegan a caudales superiores a 4,5 l/min.

Los modelos de **chupetes del tipo pitorro** son los que presentan una mayor variabilidad. Ya no solamente según las presiones del circuito de agua, sino que, para una misma presión, el caudal puede variar según el modelo/casa comercial. Por ejemplo, a una presión del circuito de agua de 0,5 bares, el caudal del agua varía de 0,5 a 3 l/min según modelo/casa comercial.

Con los chupetes de tipo pitorro, también se observa una gran variabilidad del caudal en las diferentes repeticiones, sobre todo para aquellos chupetes que trabajan con un elevado caudal (modelo k).

2.2.2 Influencia de la presión de trabajo y las pérdidas de carga en el caudal

Para estudiar el efecto de las pérdidas de carga en el circuito de distribución se preparó un circuito de una longitud de 14,6 metros con 12 puntos donde se conectaban los diferentes chupetes. El circuito disponía de tres reguladores de presión y de siete manómetros para poder simular el efecto de la pérdida de presión que tiene lugar en una línea de distribución de agua (figura 17).



Figura 17. Circuito de agua donde se analizó el efecto de la pérdida de presión.

Como puede verse en la figura 18, cuando el análisis se realiza a una presión de 2 bares, constante a lo largo del circuito, la variación de los caudales en todo el circuito es muy baja, observando más diferencias cuando se realiza el ensayo con chupetes de pitorro.

Cuando se ajusta a diferentes presiones para cada uno de los tramos (inicio: 4 bares; medio: 2 bares, y final: 1 bar), se observa que el caudal de los primeros chupetes respecto a los últimos disminuye. También se observa que en los chupetes pico-pato analizados el caudal de salida de los chupetes ubicados al inicio del circuito es de 1,3 l/min, mientras que el caudal de los chupetes del final del circuito justo llega al 0,4 l/min. En cambio, con los chupetes de pitorro también se observa el mismo comportamiento, pero aún es mucho más acentuado. Los chupetes al inicio del circuito trabajan a un caudal de 4 l/min, mientras que los chupetes al final del circuito se sitúan a menos de 1 l/minuto.

Por otro lado, si el circuito de agua trabaja a una presión constante de 4 bares, a diferencia de cuando trabaja a una presión constante de 2 bares, los caudales de los bebederos en los diferentes puntos del circuito son muy dispares.

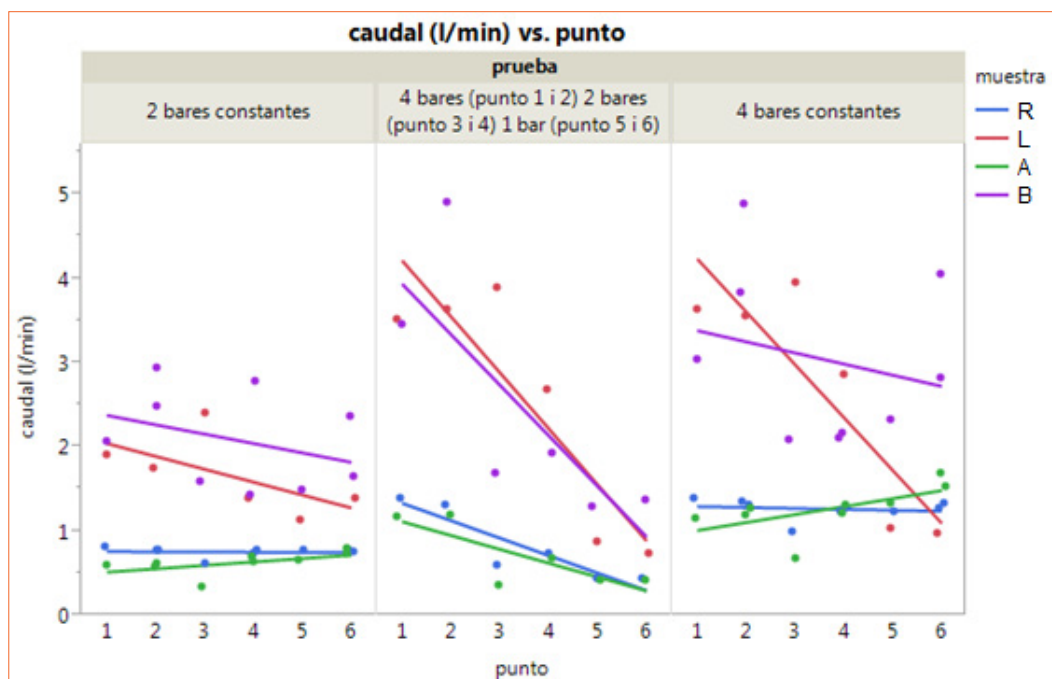


Figura 18. Análisis del caudal de los diferentes bebederos ubicados en forma continua en un circuito de agua según la pérdida de carga (B y L: chupetes de pitorro; A y R: chupetes pico-pato).

Cuando la presión del circuito de agua es más elevada, la variabilidad del caudal de salida de agua del chupete es mayor. Con presiones del circuito de agua de 4 bares la variabilidad del caudal es mucho mayor que cuando la presión del circuito de agua es de 2 bares.

2.3 Caracterización de los sistemas de registro del consumo de agua a nivel de laboratorio

El objetivo del presente apartado es mostrar el comportamiento de diferentes modelos comerciales de contadores de agua que hoy en día se están utilizando en granjas comerciales. Los contadores analizados fueron instalados en un circuito de prueba del laboratorio de producción animal de la Universidad de Lleida (figura 19) y se testaron en condiciones de bajo caudal. Los caudales estudiados son cercanos al mínimo establecido en las condiciones técnicas de funcionamiento de cada contador. De esta manera, el error dará una idea de la precisión de esta tecnología en circuitos de la granja donde los caudales no son elevados, tales como bebederos individuales, grifos, circuitos de limpieza o refrigeración.

Como puede verse en la figura 18, en el circuito se instaló un caudalímetro de precisión modelo AD-F02SSD/FMJ que se utilizó como control para valorar el caudal del circuito. Se colocaron reguladores de presión (POTERMIC PN₂₅) de manera inmediatamente anterior a los contadores y manómetros de entrada y salida en el circuito. Dichos elementos permitieron regular y conocer los caudales durante el estudio, que fueron regulados entre 160 y 260 l/h, siendo un valor dentro del rango entre los caudales mínimo (Q1) y nominal (Q3) de todos los contadores estudiados.

Se estudiaron seis tipos de contadores de agua comerciales de distintos fabricantes (tabla 29).

Una vez estabilizado el circuito, se procedió a abrir el paso de agua, hasta que un total de 120 litros fueron registrados por el caudalímetro de precisión. Tras lo cual se cerró el pasó de manera inmediata, registrando el tiempo de duración y la cifra tanto por el caudalímetro de precisión como por el contador sometido a prueba. Esta prueba se repitió con tres unidades diferentes de cada modelo comercial. A partir del tiempo y del volumen se obtuvieron los caudales generados durante cada repetición.

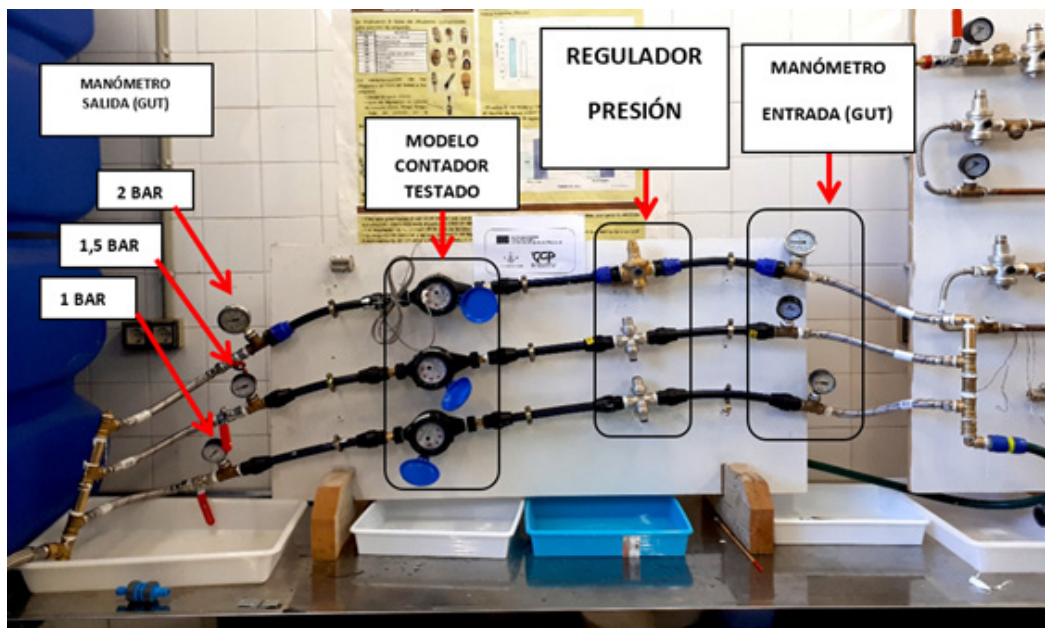


Figura 19. Circuito instalado en el laboratorio de producción animal de la Universidad de Lleida.

TABLA 29. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS CONTADORES.

| | Altecnic GG-DALC25P1 | PoGoWaz JS4-NK | Geconta MJ-SDC DN15 R80/Class B | ROSSWEINER | B METERS GSD8 ½" | GENEBRE 6010 |
|--------------------------------------|---|---|--|---|---|---|
| | I-1 | I-2 | I-3 | C-1 | C-2 | C-3 |
| |  |  |  |  |  |  |
| R (Q3/Q1) | DN (mm) 25 R80 para instalación horizontal | DN (mm) 20 R100 | DN (mm) 15 R80 para instalación horizontal | DN (mm) 15 R100-H ↑ R50-VH→ | DN (mm) 15 R80 para instalación horizontal | DN (mm) 15 Rango R40 H/V |
| Caudal máximo (Q4) | 7.000 l/h | | 3.125 | 3.000 | 2.000 | 3.125 |
| Caudal nominal o permanente (Q3) | 3.500 l/h | 4.000 | 2.500 | 2.500 | 1.600 | 2.500 |
| Caudal de transición (Q2) | 180 l/h | | 50 | | 25,6 | 100 |
| Caudal mínimo(Q1) o de arranque (Qa) | 70 l/h | | 31,25 | | 16 | 63 |

En el presente estudio se mantuvieron caudales entre los 160 y 260 l/h. Como podemos ver en la figura 20, estos caudales estarían por encima del caudal de transición (Q2) y por encima del caudal nominal (Q3) para el cual han sido fabricados (tabla 30 y figura 20). Dentro de estos rangos, el error máximo «error máximo permitido 2» o « ϵ_2 » deberá ser del 2%. Así, en todos los casos, excepto en el caso de C-2, el error fue inferior al 2% (tabla 30 y figura 21).

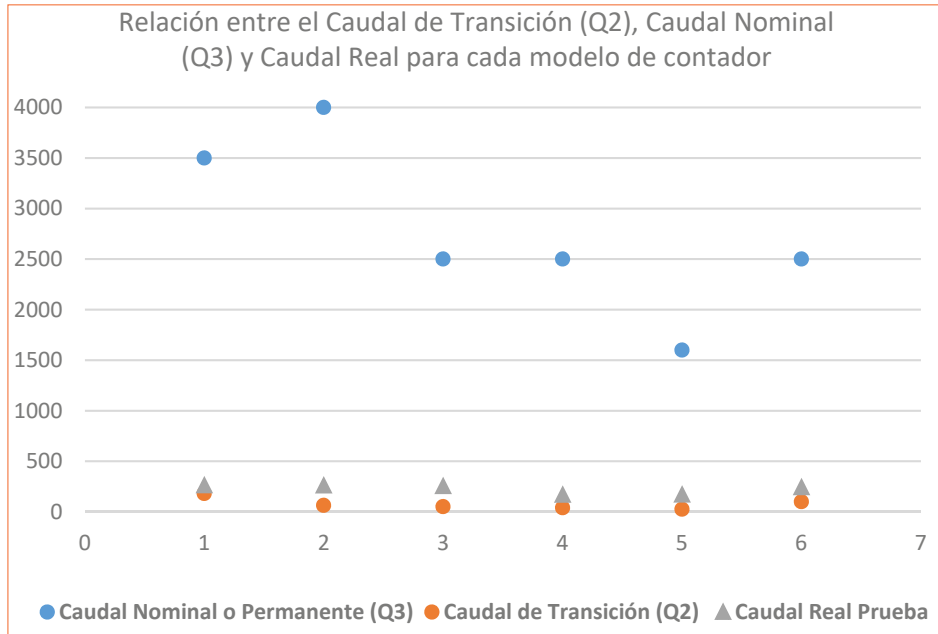


Figura 20. Relación entre caudal nominal (Q3), caudal de transición (Q2) y caudal real de la prueba para cada contador.

TABLA 30. PROMEDIO DE ERROR Y CAUDAL OBTENIDO TRAS PASAR UN VOLUMEN CONOCIDO DE 120 LITROS DE AGUA POR EL CIRCUITO PARA LOS SEIS DIFERENTES MODELOS DE CONTADORES.

| | | Promedio de error (%) | Caudal l/h |
|---------------------------------|-----|-----------------------|------------|
| Rosswainer | C-1 | 2,03 | 167,31 |
| B-Meters GSD8 1/2" | C-2 | 4,30 | 169,43 |
| Genebre 601 | C-3 | 1,07 | 242,94 |
| Altecnic GG-DALC25P1 | I-1 | 1,85 | 260,69 |
| PoWoGaz JS4-NK | I-2 | 0,85 | 259,00 |
| Geconta MJ-SDC DN15 R80/Class B | I-3 | 0,92 | 254,02 |

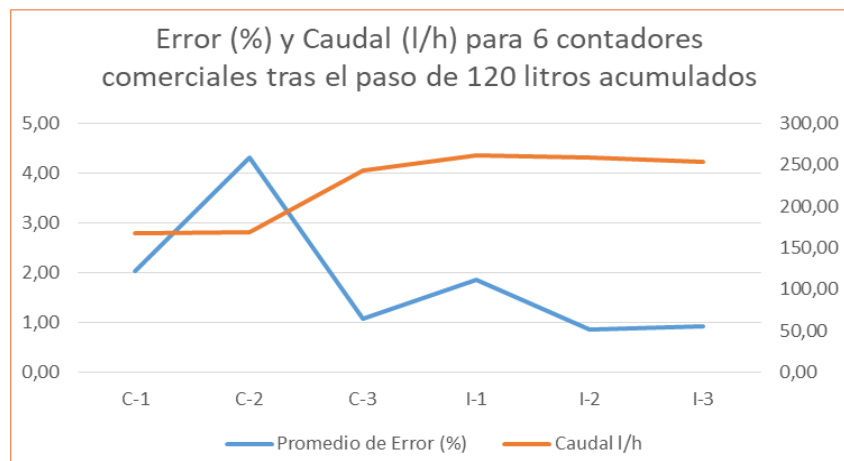


Figura 21. Relación entre el error (%) de medición y el caudal para cada contador y un total de 120 litros de agua acumulados.

Como ya se ha comentado anteriormente, uno de los parámetros fundamentales para llevar a cabo la selección de un contador es su Q3 (caudal nominal), que se debe ajustar al caudal máximo esperado en nuestro circuito. Para contadores con un mismo caudal nominal (Q3), el rango dinámico (R) es otro parámetro que entra en juego y que determinará la precisión del contador. Dicho de otro modo, el rango dinámico determinará la amplitud de caudales a la cual el contador es preciso (entendiendo por ser preciso un error del $\pm 5\%$ en la medición).

Así, un contador con un Q3 de 2.500 l/h y un R_{100} mantendrá una precisión de $\pm 5\%$ para un caudal mínimo (Q1) de hasta 25 l/h, mientras que uno con R_{250} nos ofrecerá la misma precisión hasta un Q1 de 10 l/h.

De esta manera, la elección de un contador no consiste solo en ajustar bien el Q_3 , especialmente si se desea medir instalaciones donde los caudales son temporalmente bajos o se desea detectar pérdidas de agua por fugas (recordemos que las pequeñas fugas suelen estar por debajo de los 25 l/h).

Dependiendo de la tecnología de medida, tendremos contadores con mejor desempeño en determinados rangos de caudal. En el presente experimento, se mantuvo los contadores en condiciones de trabajo cercanas al caudal de arranque, con errores por debajo del 5%.

Además, en el presente estudio los contadores no fueron instalados de manera óptima (conducción horizontal y contador con el totalizador hacia arriba), sino que se instalaron de forma subóptima (figura 21) pero representativa de un gran número de granjas, donde, en muchas ocasiones, la elección e instalación de los contadores no se llevan a cabo con los suficientes criterios técnicos. Este tipo de instalaciones genera, en el caso de contadores mecánicos, una reducción de su rango dinámico (R) y, por tanto, una pérdida de precisión.

Finalmente, hay que decir que este tipo de contadores, por su naturaleza, sufre un decaimiento sistemático de su precisión con el paso del tiempo. Por simple fricción, los elementos mecánicos se van des-

gastando y esto degrada poco a poco tanto la precisión de los equipos (el error de medida en general) como su rango dinámico.

Cada contador deberá ser instalado según las condiciones de caudal nominal o permanente (Q3) del circuito, así como del caudal mínimo (Q1) que queramos registrar. Ambos caudales vendrán determinados por el rango dinámico (R) que será propio de cada modelo comercial y que vendrá sujeto a las condiciones de instalación. Dicho de otro modo, el rango dinámico para un determinado contador será máximo cuando este esté instalado en un circuito horizontal y con el visor hacia arriba. Cualquier variación en su instalación reducirá el rango dinámico. Serán necesarios, además, el mantenimiento y la renovación de los contadores con el paso del tiempo. Todas las especificaciones técnicas de uso, instalación y mantenimiento deben ser aportadas y/o exigidas al fabricante o a la empresa de instalado.

2.4 Influencia del tipo de bebedero sobre el uso de agua, la producción de purín y el rendimiento de cerdos de engorde

Álvarez-Rodríguez y Babot (2017) y Álvarez-Rodríguez et al. (2013) presentan los resultados obtenidos al comparar cuatro tipos de bebedero y su influencia en el uso de agua, en las características del purín y en los resultados de rendimiento de los cerdos de engorde. Se utilizaron 124 animales con un peso medio inicial de 20,1 kg y un peso final medio de 98,85 kg. Se analizaron dos tipos de bebedero de chupete (pulsador, bola) y dos tipos de cazoleta (cuadrada y redonda), tal como puede verse en la figura 22.

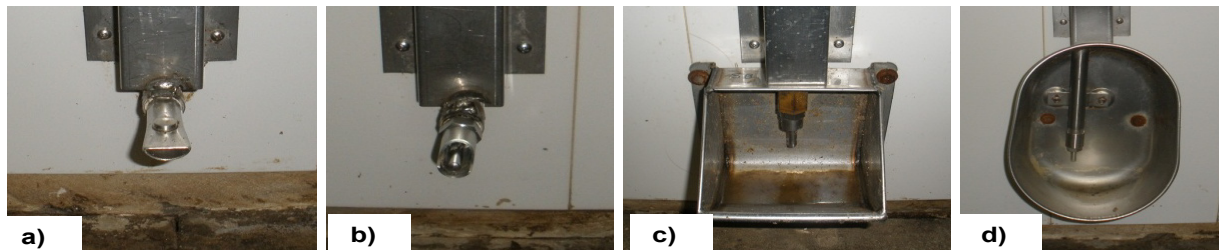


Figura 22. Características de los cuatro tipos de bebederos utilizados en el ensayo (a: chupete accionado por pulsador cilíndrico; b: chupete accionado por bola; c: cazoleta cuadrada con chupete multidireccional; d: cazoleta redonda con chupete multidireccional).

El ensayo demostró que el uso de agua por animal y día fue menor en los grupos con bebedero de cazoleta (-30%) respecto a las medias obtenidas con los bebederos de chupete (figura 23). El consumo medio diario de agua global por cerdo fue de 8,2, 9,7, 6,9 y 5,6 ± 0,5 l/día en tipo bola, pico-pato, cazoleta cuadrada y cazoleta redonda, respectivamente (Álvarez-Rodríguez *et al.*, 2013). Las diferencias entre tipos de bebedero son más marcadas a medida que los animales crecen (fase I a fase III). Ello indicaría la gran importancia que tiene una adecuada selección del bebedero para los animales en la última fase de crecimiento-cebo, que, además, es en la que más agua necesitan. El elevado valor que presenta la ratio

agua/pienso (muy por encima del recomendado biológicamente, que se situaría entre 2 y 3) sugiere que el desperdicio de agua pudo ser importante.

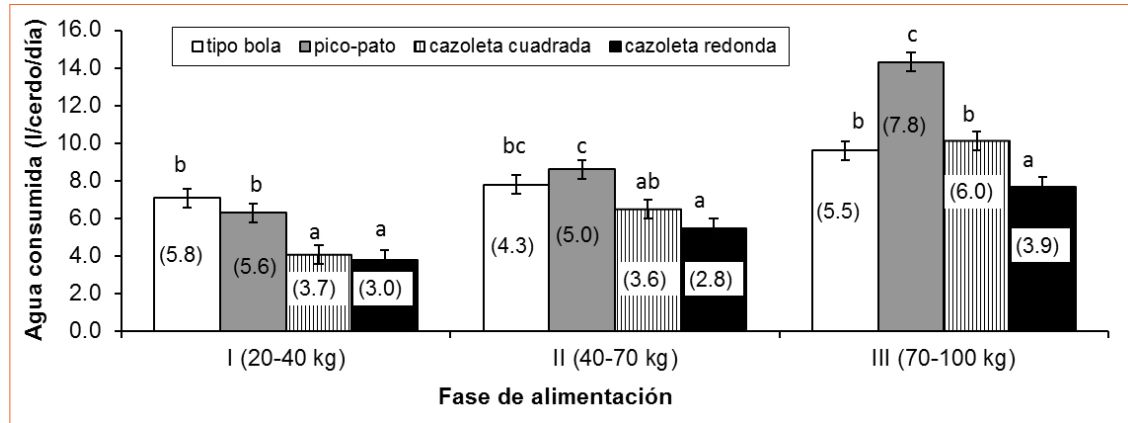


Figura 23. Consumo de agua (l/día) y ratio agua/pienso (l/kg) (entre paréntesis dentro de cada barra) en cerdos de engorde (20-100 kg) alimentados con un programa de alimentación de tres fases y diferente tipo de bebedero. Letra distinta dentro de cada fase de alimento.

El ensayo demostró también que el volumen de purín por animal y día fue menor en los grupos con bebedero de cazoleta. Esta diferencia contribuyó, además, a modificar la concentración de MS del purín y su valor fertilizante (tabla 31).

Los bebederos sin cazoleta conllevarían un volumen extra de purín que supondría, a modo de ejemplo, unos 330 m³ adicionales por ciclo de engorde en una granja de 1.000 cerdos. Esto tendría, además, implicaciones sobre las necesidades de almacenamiento en las balsas exteriores, e incrementaría en este caso en 430 € por ciclo el coste de aplicación del purín en campo, según los costes estimados de mano de obra y maquinaria siguiendo la metodología ASAE (2003).

Asimismo, el tipo de bebedero modificó al valor fertilizante del purín. El purín procedente de los corrales con bebederos sin cazoleta mostró un menor contenido de N amoniacal (-45,6%), N total (-45,3%) y K (-62,8%) que el originado en los corrales con bebederos con cazoleta. El elevado volumen y el reducido nivel de nutrientes es un factor limitante para la distancia a la que el purín puede ser transportado para su uso como fertilizante. La evolución paralela de los valores fertilizantes de N y K se explicaría porque tanto el N amoniacal como el K son elementos solubles de la fracción líquida del purín (Yagüe *et al.*, 2008), y a su vez, existe una relación directa entre la concentración de proteína y de potasio en las materias primas de la dieta (Meschy, 1998). Por su parte, las fracciones de N orgánico y P del purín fueron las menos afectadas por el tipo de bebedero y/o el contenido de MS de este. Esta respuesta se explicaría porque ambos parámetros se encuentran mayoritariamente en la fracción sólida del purín (Duthion *et al.*, 1979), que en este caso representó un porcentaje muy bajo de la muestra (entre un 4 y un 8%).

TABLA 31. EFECTO DEL TIPO DE BEBEDERO SOBRE EL VOLUMEN, LA COMPOSICIÓN Y EL VALOR FERTILIZANTE DEL PURÍN DE CERDOS DE ENGORDE (ÁLVAREZ-RODRÍGUEZ *ET AL.*, 2013).

| | Tipo bola | Pico-pato | Cazoleta cuadrada | Cazoleta redonda | Error estándar | Nivel de significación |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|------------------------|
| Volumen de purín (l/cerdo/día) | 10,5 | 9,6 | 6,7 | 6,6 | 2,96 | NS |
| COMPOSICIÓN | | | | | | |
| Densidad (g/l) | 1,01 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 0,006 | NS |
| CE (dS/m) | 15,8 | 14,7 | 25,6 | 21,5 | 4,75 | NS |
| MS (%) | 3,4 ^a | 5,4 ^{ab} | 7,0 ^b | 7,6 ^b | 0,9 | * |
| N orgánico (% sobre MS) | 3,0 | 3,0 | 3,4 | 3,1 | 0,3 | NS |
| NH ₄ -N (% sobre MS) | 7,6 | 6,0 | 6,7 | 6,6 | 1,8 | NS |
| P (% sobre MS) | 1,5 | 1,4 | 1,1 | 1,3 | 0,1 | NS |
| K (% sobre MS) | 4,8 | 4,1 | 6,3 | 7,0 | 1,7 | NS |
| Valor fertilizante | | | | | | |
| NH ₄ -N (kg/m ³) | 1,83 ^a | 2,10 ^a | 3,60 ^b | 3,64 ^b | 0,267 | *** |
| N total (kg/m ³) | 2,81 ^a | 3,70 ^a | 5,91 ^b | 6,00 ^b | 0,383 | *** |
| P (kg/m ³) | 0,48 | 0,79 | 0,84 | 1,08 | 0,173 | NS |
| K (kg/m ³) | 1,18 ^a | 1,44 ^a | 3,40 ^b | 3,64 ^b | 0,312 | *** |

Letra distinta en la misma fila indica diferencias significativas (p<0,05).

Los resultados de rendimiento técnico de los animales no se vieron afectados por el tipo de bebedero utilizado (tabla 32). El consumo de pienso medio fue de 1,8 kg/ cerdo y día, sin existir diferencias significativas entre tipos de bebederos.

TABLA 32. EFECTO DEL TIPO DE BEBEDERO SOBRE EL PESO (KG), GANANCIA MEDIA DIARIA (G/DÍA) E INGESTIÓN DE PIENSO (KG/ANIMALES Y DÍA) EN CERDOS EN CRECIMIENTO-CEBO.

| | Bola | Pico-pato | Cazoleta cuadrada | Cazoleta redonda | se |
|--------------------------------|-------|-----------|-------------------|------------------|-------|
| Peso inicial (kg) | 19,8 | 19,6 | 18,8 | 20,6 | 0,49 |
| Peso final (kg) | 97,0 | 98,1 | 98,4 | 101,9 | 0,95 |
| Ganancia media diaria (kg/día) | 0,802 | 0,815 | 0,815 | 0,843 | 0,017 |

2.5 Influencia del tipo de alimentación sobre el uso de agua y rendimiento de cerdos de engorde

Álvarez-Rodríguez *et al.* (2013, 2017) presentan los resultados obtenidos al evaluar el efecto de la forma de presentación del alimento (seco-húmeda vs. seca) sobre el uso de agua, la composición del purín y rendimiento en cerdos en crecimiento-cebo. El pienso se ofreció a los animales en una tolva holandesa, la forma de presentación seco-húmeda implicaba disponer de un chupete difusor integrado dentro del comedero y de un bebedero de cazoleta independiente, mientras que en la seca solo existía en bebedero de cazoleta independiente, colocado de forma separada del comedero.

No se observaron diferencias significativas de consumo de agua en las cazoletas entre bebederos o formas de presentación del pienso ($P > 0,05$) (tabla 33), pero el consumo de agua total fue superior cuando existía bebedero integrado en el comedero, además del bebedero de cazoleta ($7,7$ vs. $6,6 \pm 0,4$ l/cerdo/día, respectivamente; $P < 0,05$). El consumo de agua de las tolvas representó entre el 17,6% ($1,2$ l/cerdo/día en bebedero multidireccional) y el 11,8% ($0,9 \pm 0,3$ l/cerdo/día bebedero unidireccional) del consumo total de agua ($6,8$ vs. $7,6 \pm 0,4$ l/cerdo/día, respectivamente; $P > 0,05$).

TABLA 33. NIVEL DE SIGNIFICACIÓN DE LA FORMA DE PRESENTACIÓN DEL PIENSO SOBRE LAS VARIABLES DE ESTUDIO (INGESTIÓN DE PIENSO, CONSUMO DE AGUA TOTAL, EN LA CAZOLETA Y EN LA TOLVA).

| Variable dependiente | Valor de P | | |
|--------------------------|------------|--------------|------|
| | Bebedero | presentación | Fase |
| Consumo de agua cazoleta | NS | NS | *** |
| Consumo de agua tolva | NS | | *** |
| Consumo de agua total | NS | * | *** |
| Pesos | NS | NS | *** |
| Ingestión animal/día | NS | * | *** |

El consumo de agua en las cazoletas se incrementó con la fase de crecimiento, hasta un máximo de 8,5 y 7,2 l/cerdo/día con bebedero unidireccional y multidireccional, respectivamente (fase de 75 a 100 kg de peso vivo). Los consumos de agua en las cazoletas no se vieron afectados por la presencia de un bebedero adicional integrado en el comedero (presentación del pienso húmeda vs. seca; figura 24).

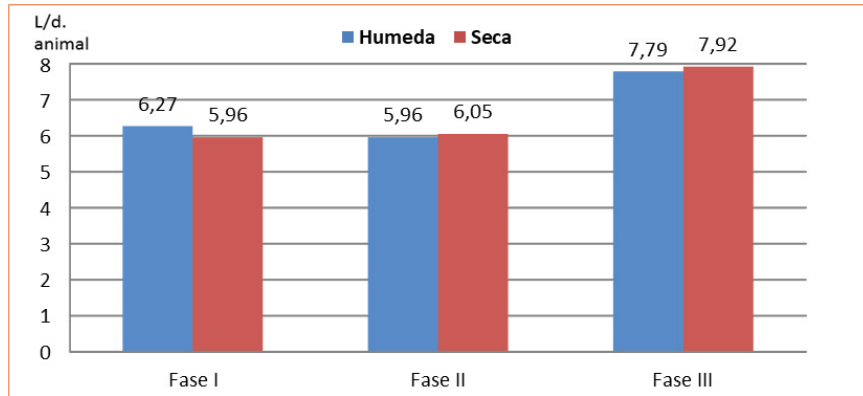


Figura 24. Consumos de agua en la cazoleta (l/cerdo/día) en función de la forma de presentación del pienso y la fase de crecimiento.

El consumo medio de pienso no se vio afectado por el modelo de bebedero ($P > 0,05$) pero fue superior cuando existía un bebedero adicional integrado en el comedero ($2,18$ vs. $2,02 \pm 0,06$ kg/cerdo/día; $P < 0,05$), especialmente en las fases II (50-75 kg) y III (75-100 kg) (figura 25).

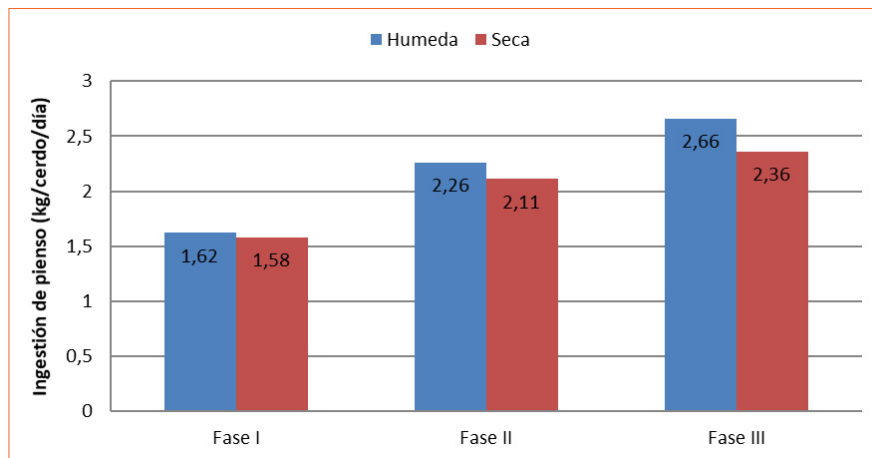


Figura 25. Consumos de pienso en función del modelo de bebedero, la forma de presentación del pienso y la fase de crecimiento.

En cuanto a las características del purín (tabla 34), el modelo de bebedero no afectó al volumen ni a la composición del purín ($P > 0,05$), pero la utilización de un bebedero adicional en el comedero incrementó el volumen de purín ($P < 0,001$) (reduciendo su proporción de materia seca) y también se redujo su valor fertilizante ($P < 0,001$).

Estos resultados indican que la adaptación de las instalaciones para mejorar el bienestar animal y los resultados productivos (bebedero en cazoleta, además del bebedero integrado en la tolva, para garantizar la oferta de agua *ad libitum*) suponen una modificación de la calidad del purín.

TABLA 34. VOLUMEN Y COMPOSICIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL PURÍN EN FUNCIÓN DE LA FORMA DE PRESENTACIÓN DEL PIENSO.

| | Presentación alimento | | Significación (P) |
|--|---------------------------|--------------------------|-------------------|
| | seco-húmedo | Seco | |
| Volumen (l/cerdo y día) | 3,49 | 2,78 | * |
| Materia seca (MS) (% sobre materia fresca) | 6,14 ± 1,26 | 7,42 ± 0,82 | NS |
| Materia orgánica (% sobre MS) | 76,5 ± 6,6 ^b | 59,7 ± 4,4 ^a | * |
| N orgánico (% sobre MS) | 2,91 ± 0,29 | 2,90 ± 0,19 | NS |
| N amoniacal (% sobre MS) | 10,38 ± 1,95 ^b | 5,41 ± 1,27 ^a | * |
| P (% sobre MS) | 1,73 ± 0,22 | 1,73 ± 0,15 | NS |
| K (% sobre MS) | 8,61 ± 1,54 ^b | 4,46 ± 1 ^a | * |

Distintas letras en una misma fila indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

La concentración de MO del purín fue ligeramente superior ($P < 0,05$) con el bebedero integrado en el comedero (presentación seco-húmeda) con respecto a la presentación seca. Esta mayor concentración de MO del purín podría evidenciar un mayor desperdicio de pienso en dicho sistema, aunque esta hipótesis deberá ser confirmada en estudios posteriores.

La concentración de N orgánico del purín no se vio afectada por la forma de presentación del alimento ($P > 0,05$) (tabla 34), no así el N amoniacal, que presentó valores ligeramente superiores cuando el bebedero se encontraba integrado en el comedero (seco-húmedo) que cuando estuvieron separados (seco). La concentración de P del purín no difirió entre formas de presentación del alimento, mientras que la concentración de K siguió una evolución paralela al N amoniacal. De hecho, la concentración de ambos nutrientes en el purín se correlacionó positivamente ($r = 0,83$, $P < 0,001$). Estos resultados concuerdan con Irañeta *et al.* (2002), que observaron que el contenido de nutrientes del purín (N-P-K) era superior cuando el sistema de bebida se localizaba dentro del comedero en comparación con los sistemas con bebedero de chupete y/o cazoleta fuera de la tolva.

En la actualidad, muchas explotaciones con presentación del pienso seco-húmedo están incorporando bebederos suplementarios en el exterior del comedero, tanto para facilitar el acceso permanente al agua como para reducir en algunos casos el desperdicio de pienso mojado no consumido. Es esperable que esta modificación no produzca excesivas diferencias en la composición del purín en comparación con el sistema seco-húmedo, puesto que en un estudio reciente realizado en época cálida el consumo medio de agua no difirió significativamente con la instalación de un bebedero suplementario de cazoleta fuera del comedero ($6,5 \pm 0,3$ vs. $6,3 \pm 0,3$ l/cerdo/día, con y sin el bebedero adicional, respectivamente; $P > 0,05$) (Dolcet, 2012).

2.6 Influencia de la altura del bebedero y de la presión del agua en la eficiencia del uso de agua

Los trabajos realizados por Dolz *et al.* (2016) y Babot *et al.* (2017) tienen como objetivo evaluar el efecto de la altura del bebedero de cazoleta y de la presión de agua sobre el uso de esta (ingesta y desperdicio) y sobre los parámetros productivos y ambientales (cantidad y calidad del purín) en cerdos de crecimiento y cebo. Se realizaron dos repeticiones, una se realizó en época cálida (primavera-verano; del 7-3-2016 al 13-6-2016) y la otra, en época fría (otoño-invierno; del 12-9-2016 al 20-12-2016). En cada repetición se utilizaron 80 machos Landrace X Large White (160 en total), que provenían del mismo origen, con una edad al destete de 21-24 días.

El trabajo se realizó con base en un diseño factorial 2x2, los factores principales fueron la presión del agua (baja: 0,8 bar y 1,52 l/min; alta: 2,5 bar y 2,48 l/min) y la altura de acceso al agua en el bebedero de cazoleta (fija: 18 cm; variable: 18 cm durante la fase 1 de alimentación y 26 cm durante las fases 2 y 3 de alimentación).

Para cuantificar el agua desperdiciada se diseñó e instaló un sistema de recogida de agua sobrante debajo de cada cazoleta. Este sistema estaba formado por una sobrecazoleta suplementaria de acero inoxidable (figura 26) conectada a un depósito de 25 litros situado en la zona de fosa (figura 27). La holgura entre la cazoleta de bebida y la cazoleta de recogida de agua desperdiciada fue de 10 mm. En la figura puede verse también cómo el bebedero de cazoleta se colocó sobre unas guías que permitían ajustar la altura de los bebederos de forma manual según las necesidades de los animales.

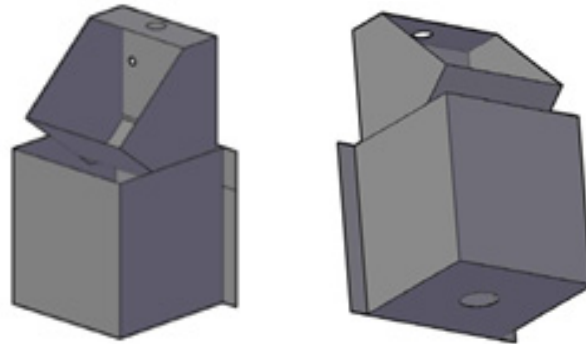


Figura 26. Diseño de la cazoleta suplementaria de recogida de agua sobrante. Autocad 3D.

Las tablas que se muestran a continuación (35 y 36) recogen los resultados obtenidos para el total de las dos repeticiones (peso inicial, 17,59 kg; peso final, 99,39 kg; duración del engorde, 99 días; índice de conversión, 2,063).

En la tabla 35 y en la figura 28 puede verse cómo en el conjunto del período de crecimiento-engorde el efecto de la presión del agua incrementó el uso (22%) y la ingestión de esta (22%) sin afectar de forma



Figura 27. Disposición de la cazoleta suplementaria instalada en condiciones de trabajo.

significativa al desperdicio de agua. Esto se debe en parte a que el desperdicio de agua fue bajo y se situó entre el 1 y el 2%.

En la tabla 35 también puede verse cómo en el conjunto del período de crecimiento-engorde el ajuste de altura en la cazoleta no influyó de forma significativa en el uso, la ingestión y el desperdicio de agua. Pero, en términos numéricos, el desperdicio de agua se reduce a un 45% al ajustar la altura a lo largo del crecimiento de los animales, pasando de 0,051 l/animal y día a 0,028 l/animal y día.

En todo caso, en la figura 27 puede verse el comportamiento de todas las variables a lo largo del período de crecimiento-cebo. La tendencia a lo largo del período es clara, el uso y el desperdicio de agua se incrementan con la edad de los animales. El uso y el desperdicio se reducen si se ajusta la altura al crecimiento de los animales. El uso y el desperdicio son mayores con presión y flujo bajos a partir del día 50 de estudio, posiblemente por ser un flujo insuficiente que perjudica el comportamiento de los animales.

Las variables de rendimiento en el global del estudio (tabla 36) no presentan ninguna diferencia significativa, ni para el efecto presión ni para el efecto posición, por lo que la aplicación del tratamiento no afecta a los rendimientos de producción. Esto indica que en condiciones de campo puede optimizarse el uso del agua sin empeorar el rendimiento de los animales.

TABLA 35. RESULTADOS DE VARIABLES RELACIONADAS CON EL USO DEL AGUA PARA EL TOTAL DEL ESTUDIO (ESTIMADORES MÍNIMOS CUADRÁTICOS, LSM —LEAST SQUARES MEANS—); SE: ERROR ESTÁNDAR; SIG.: SIGNIFICACIÓN.

| | PRESIÓN | | | | | ALTURA CAZOLETA | | | | |
|---|---------|-------|-------|-------|---------|-----------------|-------|----------|-------|------|
| | Alta | se | Baja | se | Sig. | Fija | se | Variable | se | Sig. |
| Uso de agua (l/animal y día) (sobre garrafas) | 4,072 | 0,139 | 3,328 | 0,139 | 0,0008* | 3,733 | 0,139 | 3,667 | 0,139 | NS |
| Ingestión de agua (l/animal y día) | 4,032 | 0,134 | 3,288 | 0,134 | 0,0005* | 3,682 | 0,134 | 3,639 | 0,134 | NS |
| Desperdicio de agua(l/animal y día) | 0,039 | 0,011 | 0,039 | 0,011 | NS | 0,051 | 0,011 | 0,028 | 0,011 | NS |
| Relación agua/pienso (l/kg) | 2,431 | 0,077 | 1,992 | 0,077 | 0,0004* | 2,214 | 0,077 | 2,209 | 0,077 | NS |

TABLA 36. RESULTADOS DE VARIABLES DE RENDIMIENTO PARA EL TOTAL DEL ESTUDIO.

| | PRESIÓN | | | | | ALTURA CAZOLETA | | | | |
|-------------------------------------|---------|--------|---------|-------|------|-----------------|-------|----------|-------|------|
| | Alta | se | Baja | se | Sig. | Fija | se | Variable | se | Sig. |
| Peso inicial (kg) | 17,839 | 0,470 | 17,407 | 0,437 | ns | 17,752 | 0,484 | 17,494 | 0,425 | ns |
| Peso final (kg) | 99,182 | 1,126 | 99,567 | 1,064 | ns | 99,519 | 1,093 | 99,230 | 1,096 | ns |
| Incremento (g/kg PV día) | 20,881 | 0,653 | 21,069 | 0,610 | ns | 20,826 | 0,653 | 21,124 | 0,611 | ns |
| GMD (g/día) | 825,329 | 10,004 | 829,952 | 9,348 | ns | 825,476 | 9,993 | 829,805 | 9,381 | ns |
| Consumo de pienso (kg/animal y día) | 1,719 | 0,039 | 1,697 | 0,039 | ns | 1,716 | 0,039 | 1,700 | 0,039 | ns |
| Consumo de pienso (g/kg PV y día) | 39,235 | 0,819 | 39,085 | 0,819 | ns | 39,498 | 0,819 | 38,822 | 0,819 | ns |
| Índice de conversión | 2,074 | 0,030 | 2,048 | 0,030 | ns | 2,074 | 0,030 | 2,049 | 0,030 | ns |

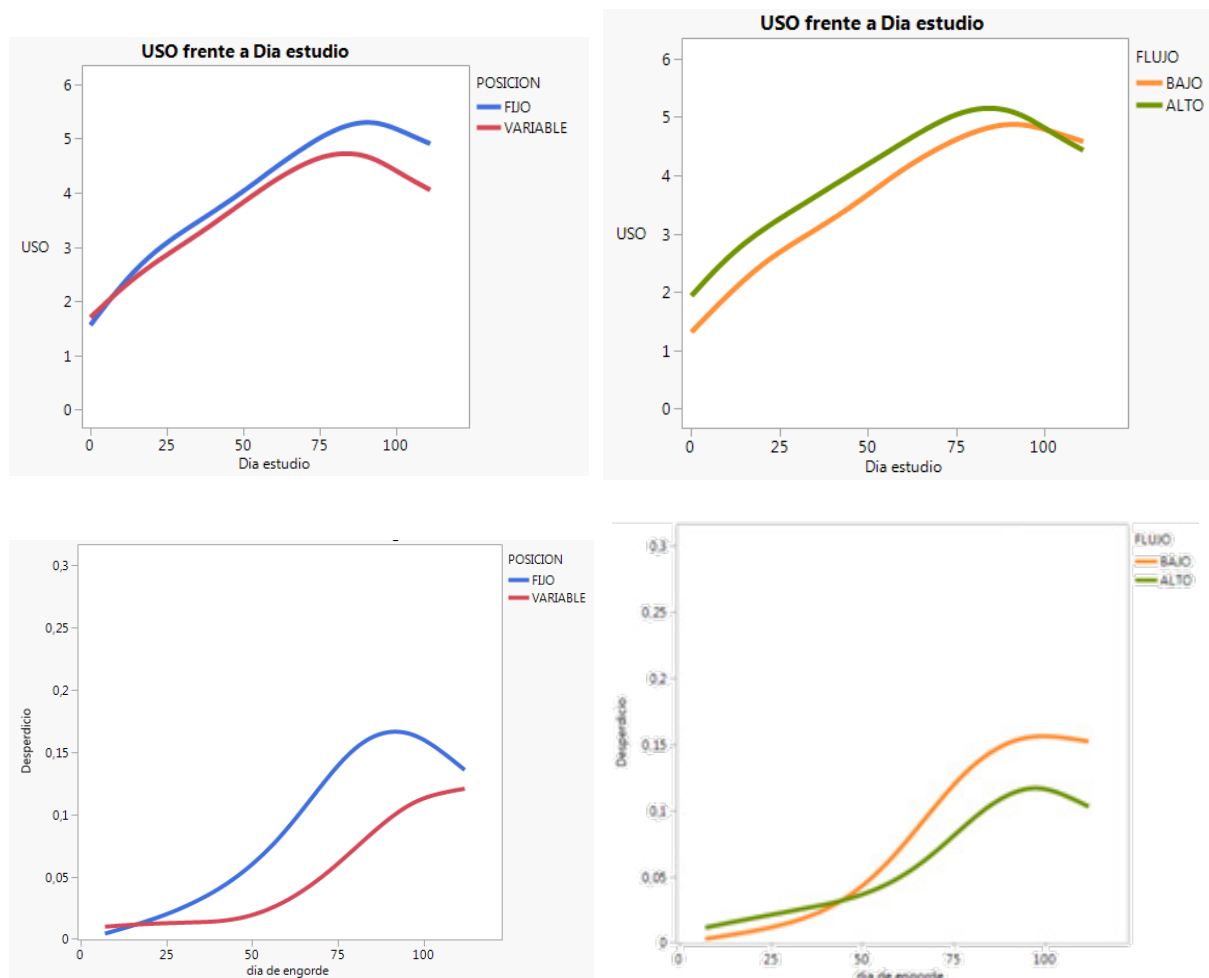


Figura 28. Desperdicio de agua.

2.7 Implicaciones económicas

Para realizar el análisis económico del impacto que supone una buena gestión del agua en relación con los bebederos, Parera *et al.* (2016) han tenido en cuenta la diferencia de costes de las instalaciones (circuito agua, complementos, tipo bebedero...), el coste del agua y el coste de gestión de las deyecciones. En este análisis económico se asume que no hay ningún efecto en los índices técnicos de producción en la explotación, tal como se ha visto en los estudios precedentes.

Pongamos como ejemplo una explotación de 4.000 plazas de engorde de dos naves, con cuatro líneas de suministro de agua. Cada línea abastece el agua de 72 corrales equivalente a 1.000 cerdos. El coste global de la fontanería sería de alrededor de 22.086 € (este coste incluye el depósito de reserva de agua).

La instalación de sistemas de regulación (contadores, manómetros y sistema de regulación de presión en cada línea) tiene un coste de 2.240 €, equivalente al 10% del coste total del circuito de bebederos. Para este cálculo no se ha tenido en cuenta la diferencia de coste entre las diversas tipologías de bebederos.

Para calcular el ahorro económico, se han considerado varios porcentajes de reducción de desperdicio de agua que van desde 10% al 25%. El incremento de desperdicio de agua se ve reflejado en dos partidas: incremento de los costes de la factura del agua e incremento de los costes de gestión de los purines.

El coste de gestión de los purines puede ser muy diferente según la explotación. En este sentido, para realizar el análisis económico en la gestión del agua se han tenido en cuenta tres costes de gestión de las deyecciones: A: 1,5 €/m³, B: 2 €/m³, y C: 3€/m³.

TABLA 37. INCREMENTO ECONÓMICO POR PLAZA Y AÑO DE CERDO DE ENGORDE POR LA GESTIÓN DEL AGUA DEPENDIENDO DEL PORCENTAJE DE DESPERDICIO EVITADO.

| Incremento de consumo de agua (%) | 10% | 15% | 20% | 25% |
|---|------|------|------|------|
| Incremento de agua (l) | 222 | 332 | 443 | 554 |
| Incremento de purín ¹ (85%) (l) | 188 | 283 | 377 | 471 |
| Coste agua ² (1,364€/m ³)(€) | 0,30 | 0,45 | 0,60 | 0,76 |
| Coste de gestión de los purines: | 0,28 | 0,48 | 0,57 | 0,71 |
| - 1,5€/m ³ | 0,38 | 0,57 | 0,75 | 0,94 |
| - 2,0€/m ³ | 0,57 | 0,85 | 1,13 | 1,41 |
| - 3,0€/m ³ | | | | |
| Coste total por plaza y año: | 0,58 | 0,88 | 1,17 | 1,46 |
| - 1,5€/m ³ | 0,68 | 1,02 | 1,36 | 1,70 |
| - 2,0€/m ³ | 0,87 | 1,30 | 1,74 | 2,17 |
| - 3,0€/m ³ | | | | |

¹ Se considera que el 85% de las pérdidas de agua se incorpora a la fosa de purines.

² Precio del agua en Lleida obtenido del Observatorio del Porcino del DARP publicado en 2014.

³ Coste medio de gestión de los purines: A: 1,5 €/m³, B: 2 €/m³, y C: 3€/m³.

A nivel de plaza, el coste se sitúa entre 0,58 y 1,46 €/plaza y año cuando el coste medio de gestión de los purines es de 1,5€/m³, pero puede incrementarse entre 0,87 y 2,17 €/plaza y año cuando el coste de gestión de los purines es de 3 €/m³. Este incremento de coste representa entre el 0,33 y el 1,24% del coste total por plaza de engorde (79,71 €/cerdo engorde × 2,2 ciclos-año; coste medio del año 2013 de las explotaciones porcinas catalanas) (Babot *et al.*, 2014). Para los ganaderos integrados, con unos ingresos de 30 € por plaza y año, el margen de beneficio se puede reducir entre un 1,9 y un 7,2%.

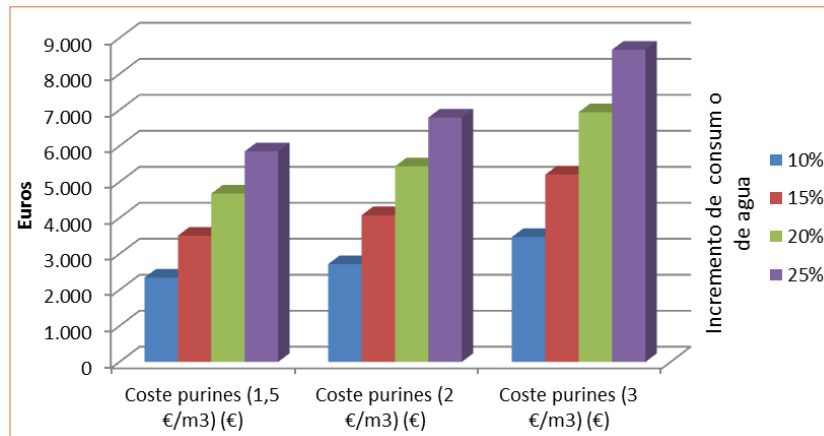


Figura 29. Sobrecoste de la gestión de la explotación debido al incremento de consumo de agua (10-25%) y al coste de gestión de los purines (1,5, 2 y 3 €/m³).

A nivel de explotación, el incremento de coste anual se sitúa entre 2.340 y 5.849 € cuando el coste medio de gestión de los purines es de 1,5 €/m³. Pero cuando el coste de gestión de los purines es de 3 €/m³, el aumento de coste por el incremento de consumo de agua de la explotación se sitúa entre 5.849 y 8.675 € anuales. En todas las situaciones se amortiza en el primer año el sobrecoste del sistema de regulación del circuito de agua (2.240 €) de la explotación.

CAPÍTULO 3. USO DE AGUA Y LA HUELLA HÍDRICA

El agua es un factor clave para la alimentación, y, por lo tanto, para el desarrollo humano. Según la FAO, la población mundial aumenta constantemente y alcanzará el umbral de nueve mil millones de personas para 2050. Esto implicará, en primer lugar, una mayor necesidad de alimentos, entre ellos, alimentos animales como una fuente de proteínas, y, por tanto, una mayor presión al medio ambiente, la sostenibilidad y los recursos de agua dulce (Mekonnen y Hoekstra, 2010, 2012; Steinfeld *et al.*, 2006).

Se estima que en el mundo se requieren más 9.087 Gm³ de agua para sustentar la actividad (Hoekstra y Mekonnen, 2012), la agricultura es actualmente responsable del más del 70% de las extracciones mundiales de agua (Ridoutt, Sanguansri, Freer y Harper, 2012), y un tercio de estas extracciones se atribuye a la producción ganadera. Hoy, la producción ganadera puede tener un gran impacto ambiental, como las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), la acidificación, la nitrificación y la erosión del suelo, la eutrofización, la pérdida de biodiversidad y el estrés mundial por la competencia con el agua dulce (Steinfeld *et al.*, 2006).

Hay que tener en cuenta que la gestión del agua a nivel mundial es global, con usos internos de país y con intercambios entre países y zonas mundiales, tal como puede verse en la figura 30.

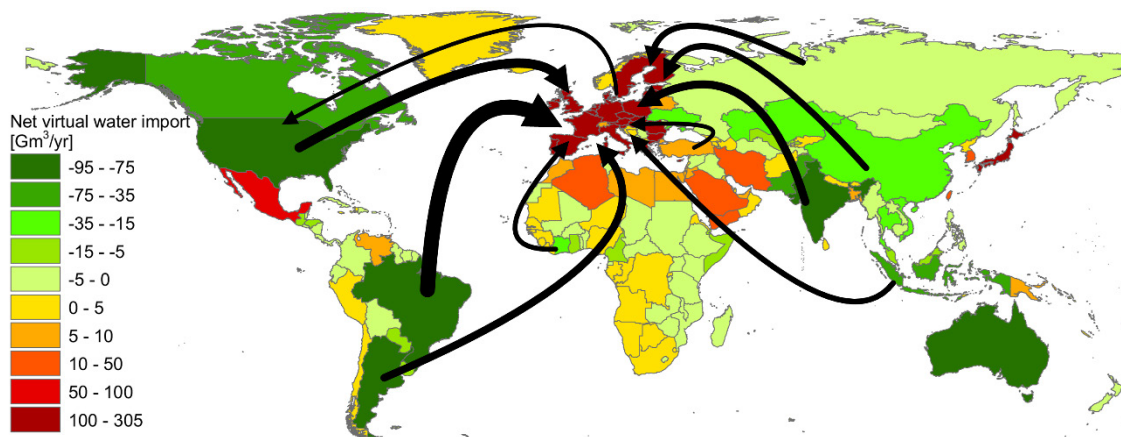


Figura 30. Flujos mundiales de agua (adaptado de Hoekstra y Mekonnen, 2012).

Este capítulo tiene la intención de describir el impacto de la producción porcina teniendo en cuenta el modelo de la huella hídrica, por ello se profundizará en los consumos y ahorros de agua en la produc-

ción en granja y en cómo afecta la gestión de los purines en zonas de alta densidad ganadera desde el punto de vista hídrico.

3.1 Huella hídrica

La huella hídrica es un indicador del agua utilizada que tiene en cuenta tanto el agua directamente utilizada por el productor o consumidor como el agua usada de forma indirecta para todo el proceso de producción. Así, la huella hídrica de un producto es la cantidad de agua utilizada para producir el producto a lo largo de toda la cadena de producción.

En este contexto se pueden diferenciar tres tipos de agua:

- **Agua azul** (*blue water*): se refiere al agua superficial (ríos, lagos, mares...) o agua subterránea.

Movilidad:

- Evaporación.
 - Incorporación al producto.
 - Movilizada en el espacio (por ej., intercambio con otra cuenca hídrica).
 - Movilizada en el tiempo (por ej., evaporación en primavera y precipitación en otoño).
- **Agua verde** (*green water*): se refiere al agua procedente de la lluvia que cae sobre el suelo y queda almacenada o retenida en la capa superficial del suelo.

Movilidad:

- Evaporación.
 - Utilizada por las plantas.
 - Paso a agua subterránea.
- **Agua gris** (*grey water*): se refiere a la cantidad de agua necesaria para gestionar el exceso de residuos producidos manteniendo los niveles estándar en la calidad medioambiental del agua. Por tanto, es un indicador del grado de contaminación del agua que puede ser asociado al proceso de producción del producto. Se mide dividiendo la carga contaminante (cantidad/tiempo) entre la diferencia entre el nivel máximo admitido del elemento contaminante en el agua limpia (cantidad/volumen) y la concentración natural en el agua obtenida al final del proceso de producción (cantidad/volumen).

Existen algunas publicaciones muy didácticas (figura 31) que nos pueden dar un orden de magnitud de la huella hídrica de los productos de origen vegetal y animal. En general, puede decirse que los productos vegetales requieren menos agua que los productos de origen animal. Esto en parte se debe a que los productos animales requieren más procesos, ya que puede decirse que se producen con base en productos vegetales que ingieren los animales y transforman en productos animales (carne, leche, huevos...). Este proceso se justifica en la medida que se añade valor al producto, ya sea cualitativo o cuantitativo.

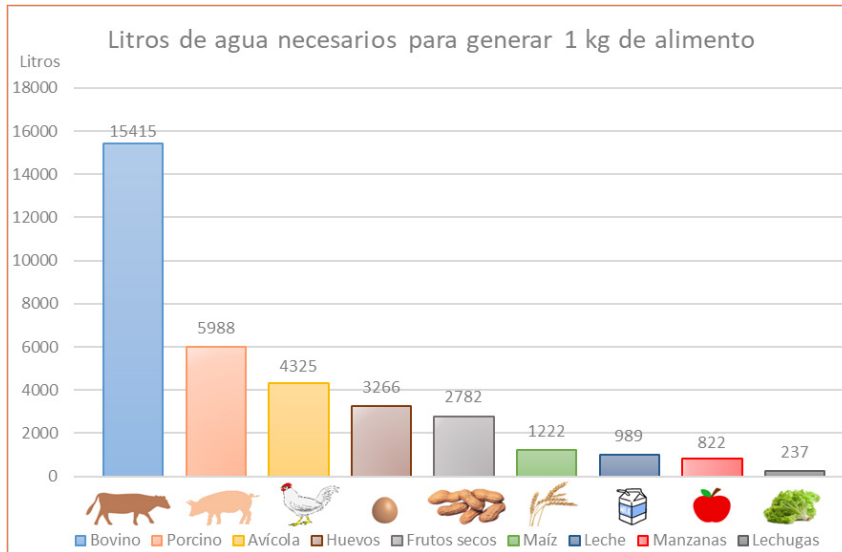


Figura 31. Uso de agua para producir productos vegetales y animales (adaptado de Mekonnen y Hoekstra, 2010, 2011, 2012).

En la huella hídrica de un producto animal (carne, leche, huevos...) se deberá considerar la parte correspondiente a la huella hídrica asociada a los productos vegetales que el animal ingiere. En la figura 32 puede verse un ejemplo simplificado de la huella hídrica, en forma de agua directa e indirecta, en la cadena de producción de un producto animal (Mekonnen y Hoekstra, 2011).

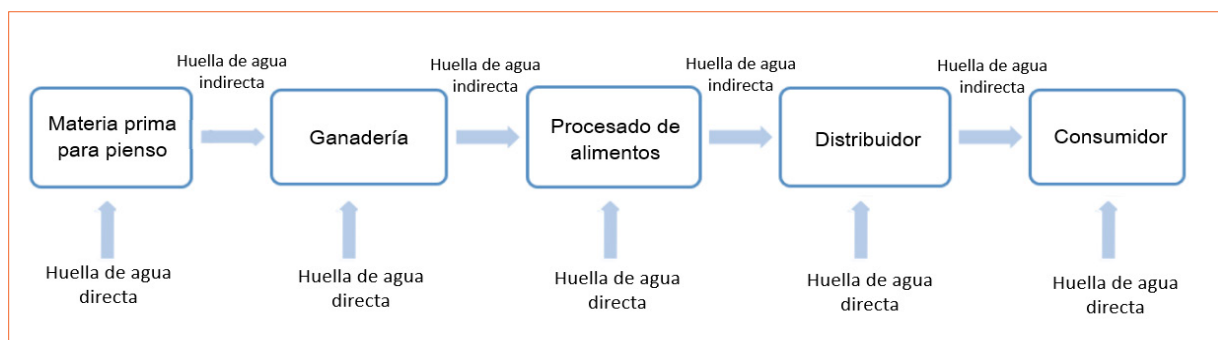


Figura 32. La huella hídrica directa e indirecta en cada etapa de la cadena de suministro de un producto animal (adaptado de Hoekstra, Chapagain, Aldaya y Mekonnen, 2011).

En la figura 33 (adaptada de Boles, 2013, y Matlock *et al.*, 2014) puede verse el diagrama de flujos, así como las principales vías de entrada y salida del agua en la cadena de producción de carne porcina.

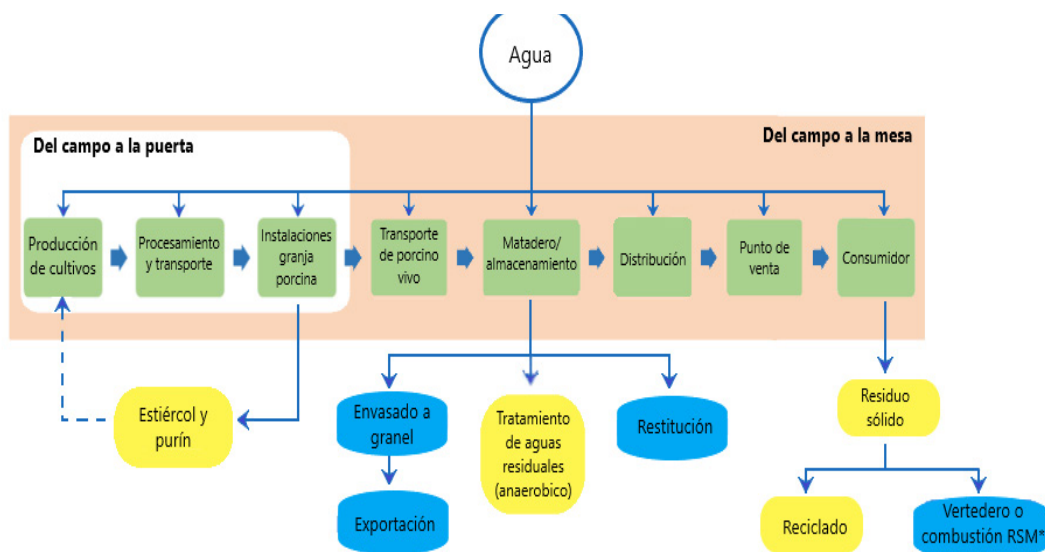


Figura 33. Diagrama de flujos en la cadena de la producción animal (adaptado de Boles, 2013, y Matlock *et al.*, 2014).

Existen algunos estudios que han abordado la huella hídrica de los diversos productos animales en las condiciones de diferentes países del mundo.

Cuando se analiza la huella hídrica según el tipo de producción ganadera (Miglietta, De Leo, Ruberti y Massari, 2015) se puede corroborar que la producción con una menor huella es la producción de carne de pollo, seguida de la producción de carne de cerdo (tabla 38). En la producción de carne de ternera la huella hídrica se duplica respecto a las carne de pollo o cerdo. Cuando se analiza por tonelada de carne comestible, las diferencias entre especies se incrementan. Por otro lado, cuando se analiza la huella hídrica por el contenido de proteína comestible los litros necesarios para gramo de proteína obtenida también son menores en la producción de pollos con respecto a la carne de cerdo o de ternera.

TABLA 38. HUELLA HÍDRICA (HH) EN LA PRODUCCIÓN DE CARNE Y PROTEÍNA DE DIFERENTES ESPECIES (CERDOS, POLLOS, TERNEROS) (MIGLIETTA *ET AL.*, 2015).

| | HH (m ³ /t) | Peso (kg) | HH animal (m ³ /t) | Años de vida | HH por animal (m ³ /año/animal) | HH por tonelada comestible (m ³ /t) | Contenido de proteína (g/kg comestible) | HH por proteína comestible (l/g) |
|---------|------------------------|-----------|-------------------------------|--------------|--|--|---|----------------------------------|
| Cerdos | 3.831 | 102 | 390,76 | 0,75 | 521 | 5.988 | 105 | 57 |
| Pollos | 3.364 | 1,9 | 6,39 | 0,25 | 25,56 | 4.325 | 127 | 34 |
| Ternera | 7.477 | 253 | 1891,68 | 3 | 630,56 | 15.415 | 138 | 112 |

Mekonnen y Hoekstra (2012) presentan resultados de diversos productos ganaderos sujetos a diferentes sistemas de producción (con base en pastos o industrial o mezcla entre ambas) y en el contexto de diferentes países (China, India, Holanda y Estados Unidos). En la figura 34 puede verse cómo la producción extensiva con base en pastos es la que más agua utiliza, frente al sistema de producción industrial, que es el que menos agua requiere. También puede verse que la carne de rumiantes (vacuno, ovino y caprino) requiere más agua que la de monogástricos (aves y cerdos). Mekonnen y Hoekstra (2012) cifran la huella hídrica media en 15.414, 10.412 y 5.521 m³/t, para las tres especies de rumiantes, respectivamente, y en 5.988 y 4.325 m³/t para porcino y avicultura, respectivamente.

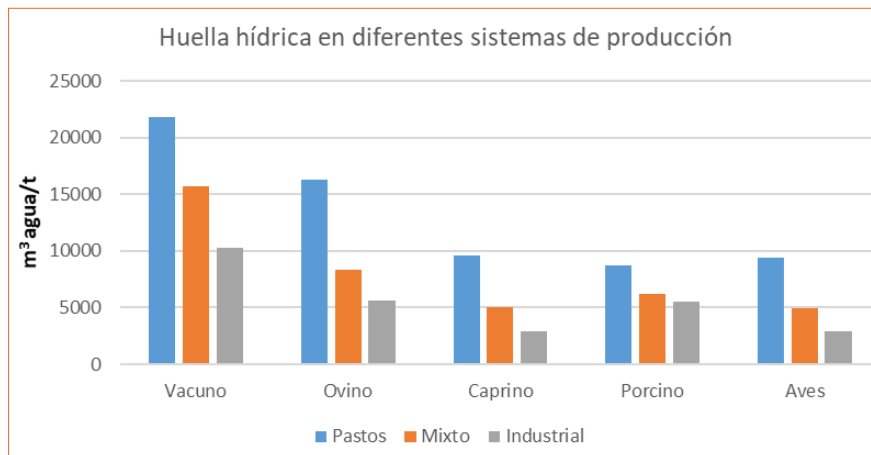


Figura 34. Huella hídrica de los diferentes sistemas de producción de carne (adaptado Mekonnen y Hoekstra, 2012, y Gerbens-Leenes, Mekonnen y Hoekstra, 2013).

3.2 Huella hídrica en porcino

Para cuantificar la huella hídrica en porcino será necesario contemplar toda la cadena de producción de carne porcina (del campo a la mesa), y todos los procesos que intervienen en esta y que suponen uso de agua. En la figura 35 se presentan de forma esquemática la cadena de producción de carne porcina y el diagrama de flujo del agua según Matlock *et al.* (2014).

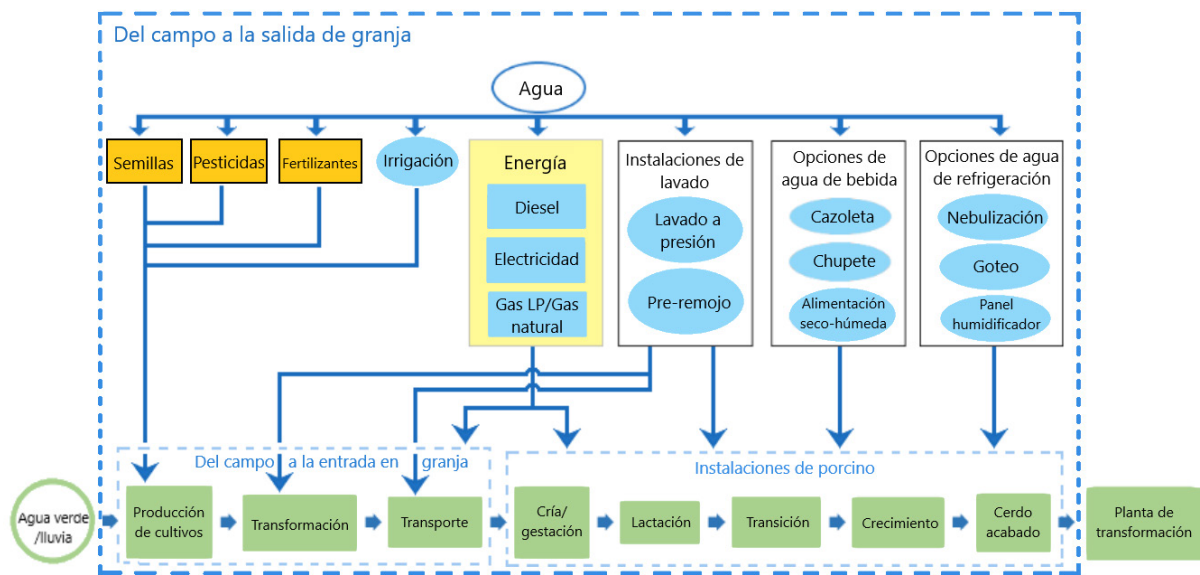


Figura 35. Diagrama de flujo en la cadena de producción de carne porcina (adaptado de Boles, 2013, y Matlock *et al.*, 2014).

Tal y como ya se ha comentado, la producción de carne porcina se inicia en el campo. De forma simplificada podemos decir que se inicia en el momento en el que se trabajan los campos para la siembra del cereal, soja..., que, finalmente, servirán de comida para los animales. Esta es la parte de la cadena de la carne porcina que requiere más cantidad de agua. De los resultados presentados en el apartado anterior, y según los datos de Mekonnen y Hoekstra (2012), la huella hídrica de la producción de carne porcina puede situarse como media en torno a los 6.000 litros de agua por kilo de carne, con variaciones importantes entre países (3.000 y 9.000 litros de agua por kilo de carne). Las diferencias se deben, en parte, a los sistemas de producción (intensivos con base en cereales o extensivos con base en pastos), y, en parte, a las estrategias de manejo y uso del agua aplicables en granja, que ya se han comentado en los capítulos precedentes.

En las condiciones de EE. UU., Boles (2013) estima que el 98,1% del agua se requiere en la producción de vegetales y solo el 1,9% se requiere en el entorno de la granja y de los animales. Por tanto, la sostenibilidad en la alimentación de los animales será el principal reto; todo lo que se haga para reducir el uso del agua en los cultivos servirá para reducir la huella hídrica de la carne de porcino. La utilización de subproductos alternativos en alimentación animal o el desarrollo de nuevos alimentos para los animales son aspectos que tener muy en cuenta.

En los capítulos precedentes ya hemos puesto de manifiesto cómo en el entorno de la granja también podemos contribuir a la reducción de uso directo de agua (agua azul). En la figura 36 pueden verse de forma resumida las opciones que existen para optimizar el uso de agua en granja (bebida, limpieza, refrigeración, manejo de purines).

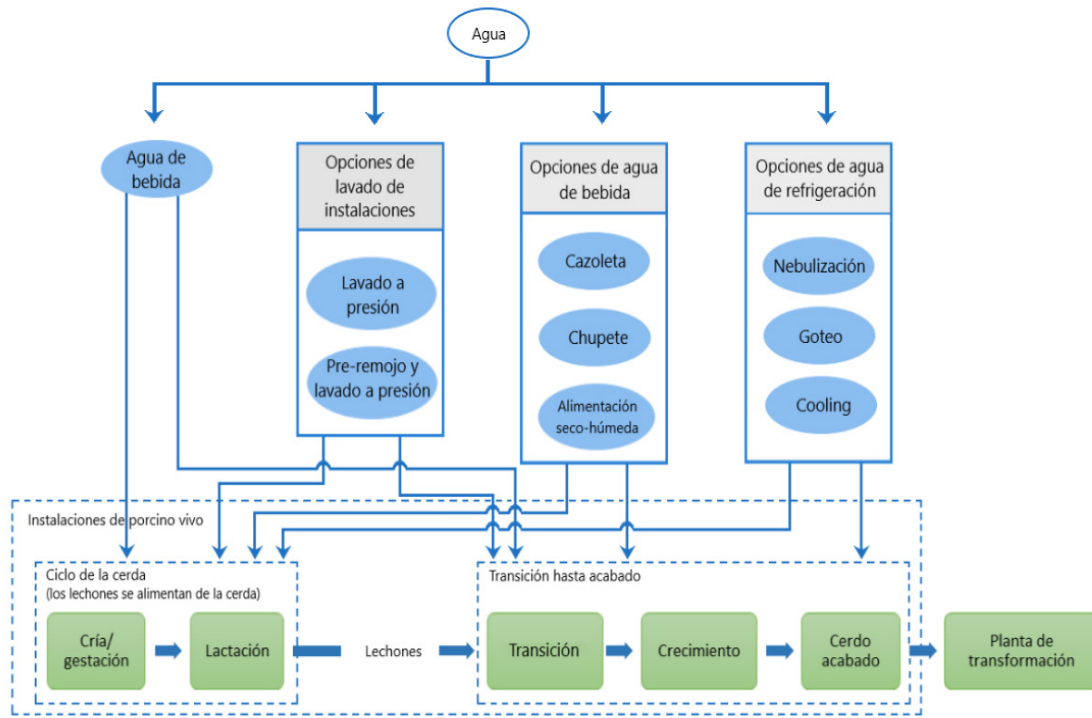


Figura 36. Uso de agua en el entorno de la granja (adaptado de Boles, 2013, y Matlock *et al.*, 2014).

3.3 Huella hídrica en España

En la figura 37 se presenta la huella hídrica en España, elaborada con base en datos de 2001 y publicada por el MARM (2011). La huella hídrica en España se sitúa en torno a los 90.000 hm³/año. La agricultura es el sector con una huella hídrica mayor (>30.000 hm³/año). Así, la agricultura representa alrededor del 38%, mientras que la ganadería solamente representa el 2%. La industria de la alimentación también tiene un gran impacto, con una huella hídrica del 26%.

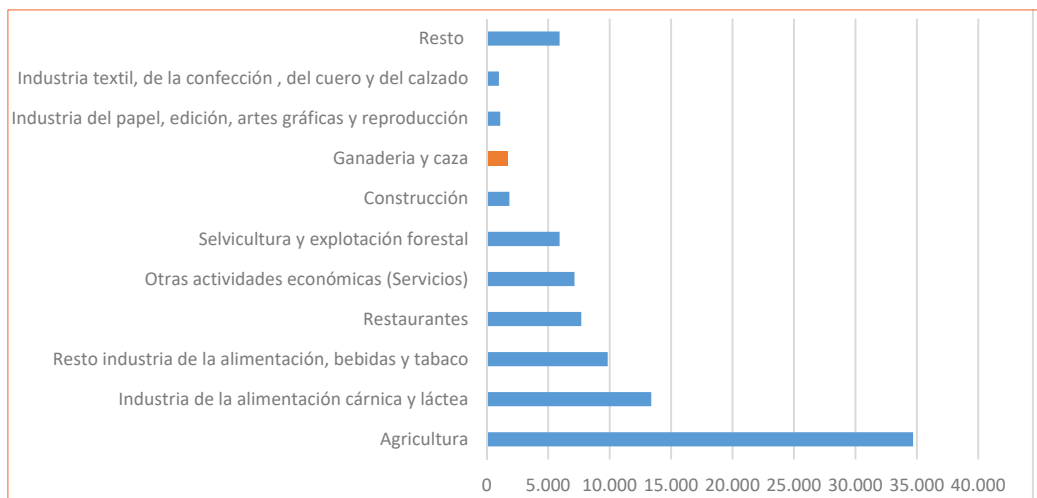


Figura 37. Componentes de la huella hídrica de España por sectores (hm³/año). La muestra contabiliza el agua azul y el agua verde para el año 2001 (MARM, 2009 y 2011).

En la publicación del MARM (2011) también se pone de manifiesto que los flujos de agua son globales a nivel mundial y que existe intercambio de agua entre cuencas, territorios y países (figura 38).

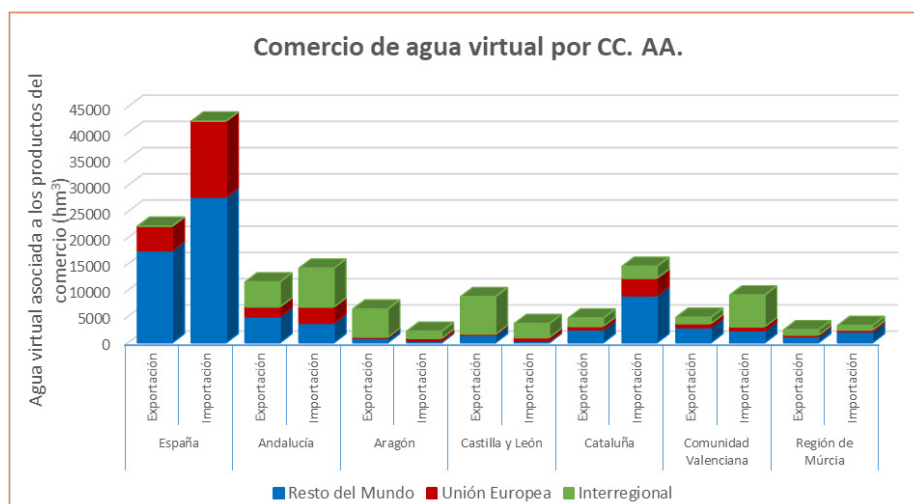


Figura 38. Flujos de agua virtual por CC. AA. (adaptado de MARM, 2011).

Aldaya *et al.* (2012) presentan los resultados obtenidos al estudiar la evolución de los usos del agua en España entre 2000 y 2009 (tabla 39). Puede verse que, aunque existen variaciones puntuales entre los diferentes años, la importancia relativa de los diferentes sectores se mantiene a lo largo del tiempo. Por otra parte, también es necesario hacer notar el gran desequilibrio entre el peso del consumo de agua con respecto al PIB o el empleo en el sector agrario (agricultura y ganadería). Así, la agricultura y la ganadería consumen alrededor del 94% del agua, pero solamente representan, aproximadamente, el 2,3% del PIB y el 4,3% del empleo.

TABLA 39. IMPORTANCIA RELATIVA DE LA ECONOMÍA Y DE LA OCUPACIÓN DE LOS RECTORES DE LA ECONOMÍA ESPAÑOLA Y CONSUMOS DE AGUA (AZUL Y VERDE; NACIONAL E IMPORTADA) RELACIONADA CON CADA SECTOR (ADAPTADA DE ALDAYA ET AL., 2012).

| Sector | 2000 | 2002 | 2004 | 2006 | 2008 | 2009 |
|--------------------------------|------------------|------|------|------|------|------|
| | % del PIB | | | | | |
| Agricultura, ganadería y pesca | 3,8 | 3,5 | 3,1 | 2,4 | 2,3 | 2,3 |
| Industria | 18,8 | 17,7 | 16,7 | 15,8 | 15,6 | 14,6 |
| Construcción | 9,3 | 10,5 | 11,4 | 12,6 | 12,5 | 12,1 |
| Turismo | 11,6 | 11,1 | 10,9 | 10,9 | 10,5 | 10,0 |
| Servicios | 46,9 | 48,0 | 47,8 | 47,2 | 50,8 | 53,2 |

| Sector | 2000 | 2002 | 2004 | 2006 | 2008 | 2009 |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| % Empleo | | | | | | |
| Agricultura, ganadería y pesca | 6,1 | 5,8 | 5,4 | 4,7 | 4,4 | 4,3 |
| Industria | 19,4 | 18,5 | 17,3 | 16,3 | 15,6 | 13,6 |
| Construcción | 11,2 | 12,1 | 12,8 | 13,6 | 12,6 | 11,1 |
| Turismo | 11,6 | 12,0 | 12,37 | 13,3 | 13,8 | 10,8 |
| Servicios | 51,8 | 51,6 | 52,1 | 52,1 | 53,6 | 53,8 |
| Consumo de agua (hm³/año) | | | | | | |
| Producción de cultivos | 27.206 | 28.795 | 30.899 | 25.819 | 33.077 | 25.145 |
| Ganadería | 40.839 | 42.952 | 44.343 | 42.969 | 42.995 | 42.563 |
| Industria y construcción | 2.081 | 1.870 | 2.007 | 1.677 | 2.148 | 1.633 |
| Turismo | 518 | 466 | 500 | 418 | 535 | 407 |
| Servicios (urbanos) | 1.735 | 2.012 | 2.047 | 2.077 | 1.921 | 1.965 |

En la figura 39 se presentan la huella hidrológica de la agricultura española y la importancia relativa del agua verde y azul (2001) (MARM, 2009, 2011). Puede verse cómo el sector agrícola es el mayor consumidor de agua azul (el 74% del volumen total), mientras que el agua azul utilizada por el sector ganadero únicamente es del 1%, siendo este último el más consumidor de agua verde (41% del volumen total).

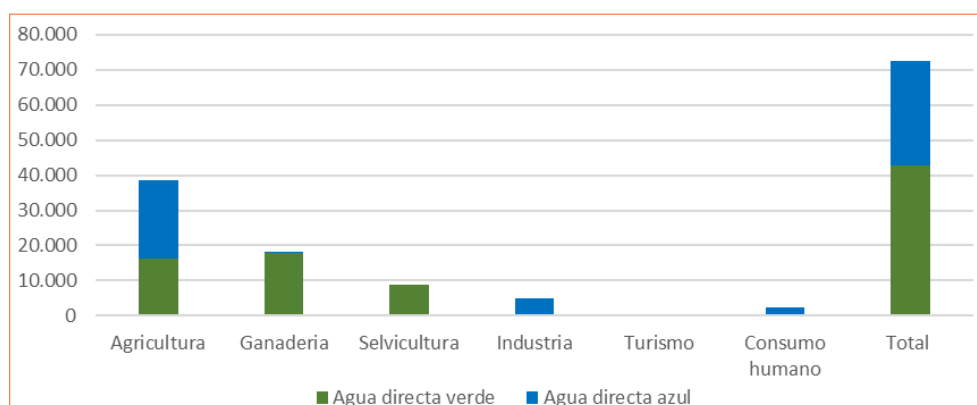


Figura 39. Huella hidrológica (agua directa verde y azul en hm³/año) de la agricultura española (2001) (MARM, 2009, 2011).

En la figura 40 se presenta la distribución del uso de agua (hm³/año) en España en las diferentes confederaciones hidrográficas para el año 2001. Así, se estimaba una demanda de agua de 35.323 hm³/año, de los cuales el 68% se debía a la demanda para riego de cultivos. Esta distribución general puede variar sensiblemente en función del nivel agrícola, urbano e industrial de cada confederación. Por ejemplo, en las cuencas internas de Cataluña el 50% es demanda urbana y solo el 27% es demanda para regadío. En el Ebro, el 61% del agua se usa para regadío y solo el 3% se usa para la demanda urbana.

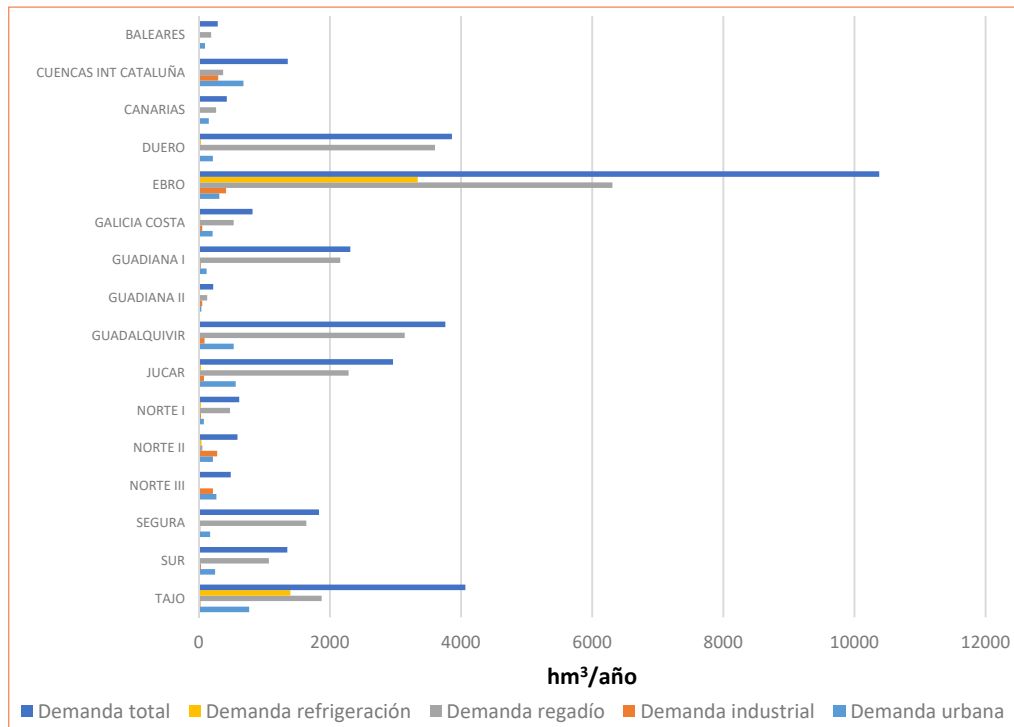


Figura 40. Demanda de agua de las diferentes cuencas hidrológicas (refrigeración, regadío, industrial o urbana) en España (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2008).

En el agua utilizada para la agricultura en España, los cereales ocupan la primera posición, tal como puede verse en la figura 41 (Garrido *et al.*, 2010). Chico y Garrido (2012) estiman una productividad aparente del agua usada en los cereales de 0,84 euros por metro cúbico. Una forma de medir el valor económico del uso del agua es mediante la productividad aparente. La productividad aparente es el coeficiente entre el valor obtenido del producto cosechado y las necesidades hídricas de este. Los cereales de secano y las legumbres presentan una productividad aparente baja (de 0,5 a 1,0 €/m³), en cambio, cultivos como la viña, con muy poca demanda y un elevado precio en el mercado, presentan una elevada productividad aparente (de 2 a 3 €/m³).

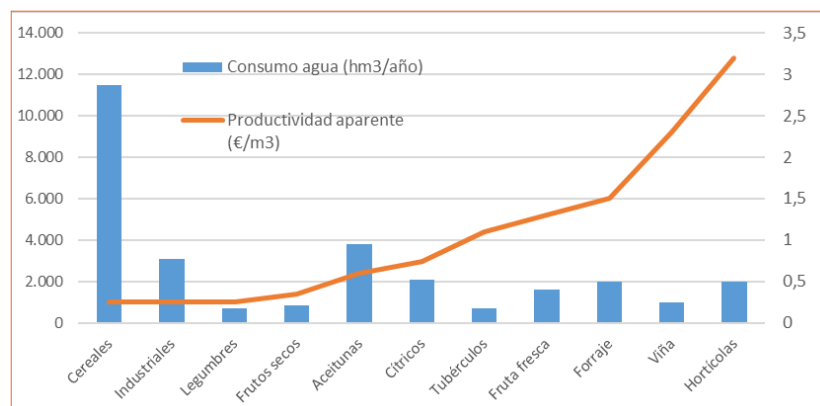


Figura 41. Productividad aparente del agua y huella hídrica azul y verde de la producción de cultivos en la agricultura española (año 2006) (adaptado de Garrido *et al.*, 2010).

La estimación de huella hídrica en las diferentes comunidades autónomas puede consultarse en la publicación del MARM *Huella hídrica, sostenibilidad territorial* (2011). También pueden encontrarse estudios publicados con datos detallados de algunas cuencas como las de Duero (De Miguel, Kallache y García-Calvo, 2015), Guadalquivir (Aurélien, Salmoral y Llamas, 2012) y Ebro (Almazán-Gómez, Sánchez-Chóliz y Sarasa, 2018). A nivel de ejemplo, en la figura 42 pueden verse de forma gráfica los flujos de agua que caracterizan la huella hídrica en la cuenca del Guadalquivir y en la tabla 40 se presenta la huella hídrica estimada para el valle del Ebro.

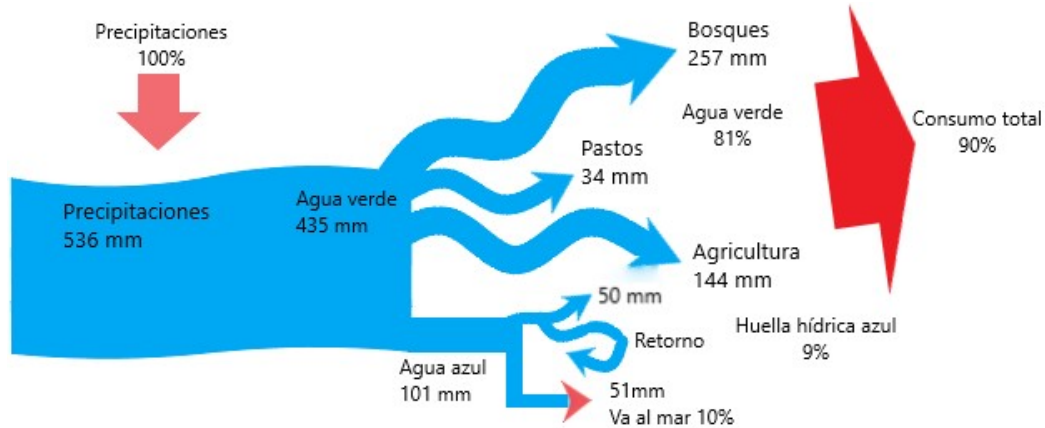


Figura 42. La huella hídrica de la cuenca del Guadalquivir dentro del ciclo hidrológico (adaptado de Aurélien *et al.*, (2012).

TABLA 40. HUELLA HÍDRICA DEL SECTOR AGROALIMENTARIO SOPORTADA POR EL VALLE DEL EBRO (ADAPTADO DE ALMAZÁN-GÓMEZ *ET AL.*, 2018).

| Huella hídrica del sector agroalimentario soportada por el valle del Ebro | |
|---|--------|
| Población en la cuenca del Ebro en 2009 (millones de habitantes) | 3,1 |
| Huella hídrica del sector agroalimentario de la cuenca del Ebro (m ³ /habitante y año) | 1.050 |
| Consumo de agua por los habitantes de la cuenca del Ebro (hm ³) | 3.285 |
| Consumo del agua total del sector agroalimentario del valle del Ebro (hm ³ /año) | 12.664 |
| Resto del consumo de agua total en la cuenca del Ebro (hm ³) | 9.379 |
| Huella hídrica del sector agroalimentario nacional per cápita (m ³ /habitante y año) | 1.619 |
| Huella hídrica del sector agroalimentario soportada por el valle del Ebro (M hab.) | 5,8 |

3.4 Huella hídrica del porcino en España

Existen algunos estudios que presentan la huella hídrica del sector porcino español, entre ellos cabe destacar el de De Miguel, Hoekstra y García-Calvo (2015), que pone de manifiesto la demanda de más de 21.000 hm³ de agua para sostener el sector porcino durante el año 2008 (figura 43). Según estos autores, en los ocho años estudiados (de 2001 a 2008), la huella hídrica media del sector porcino fue de 19.517 Mm³/año (82% verde, 8% azul y 10% gris). Entre 2001 y 2008, la huella hídrica del sector porcino se ha incrementado en un 23%. Como era de esperar, la mayor parte de la demanda de agua (99%) se debe a la demanda indirecta necesaria para la producción de alimentos para los animales. Si se calcula la huella hídrica aparente por unidad de producción de carne (como la relación entre el agua necesaria y la carne producida en 2008), se obtiene un valor de 6,08 m³/kg. Hay que tener en cuenta también que la mayor parte de la producción porcina española se sitúa en Cataluña y Aragón, y, por tanto, en el contexto de la cuenca hidrográfica del Ebro.

Hay que tener en cuenta también que una parte importante de las materias primas de los piensos para porcino son importadas. En la tabla 41 puede verse cómo en la actualidad en torno al 51% de los cereales utilizados en España proceden de la importación de otros países.

TABLA 41. EVOLUCIÓN DEL BALANCE DE LA DISPONIBILIDAD DE CEREALES EN ESPAÑA ENTRE 2008 Y 2017 (HTTP://WWW.FAO.ORG/FAOSTAT/).

| Año | Producción | Importación (t) | Exportación (t) | Utilización (t) | Importación (%) |
|------|------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 2008 | 23.995.338 | 12.714.623 | 1.458.886 | 35.251.075 | 36 |
| 2009 | 17.894.933 | 13.195.716 | 1.038.506 | 30.052.143 | 44 |
| 2010 | 19.880.013 | 10.239.170 | 1.312.591 | 28.806.592 | 36 |
| 2011 | 22.097.143 | 10.951.598 | 1.454.951 | 31.593.790 | 35 |
| 2012 | 17.547.278 | 12.471.947 | 1.150.141 | 28.869.084 | 43 |
| 2013 | 25.366.791 | 9.904.008 | 1.440.010 | 33.830.789 | 29 |
| 2014 | 20.599.707 | 12.134.254 | 1.319.964 | 31.413.997 | 39 |
| 2015 | 20.172.557 | 13.893.897 | 1.260.017 | 32.806.437 | 42 |
| 2016 | 24.101.855 | 14.825.823 | 1.149.275 | 37.778.403 | 39 |
| 2017 | 16.660.325 | 15.828.306 | 1.238.220 | 31.250.411 | 51 |

En la figura 43 se presentan los datos de huella hídrica del sector porcino español (de 2001 a 2008) obtenidos por De Miguel *et al.* (2015).

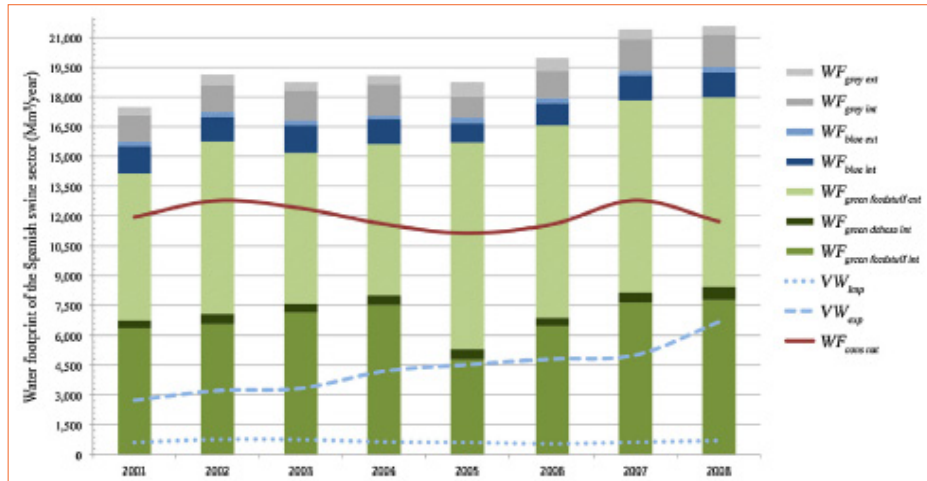


Figura 43. El agua azul y verde de la producción porcina española acorde a su origen (interna o externa y productos alimenticios o dehesa) y el agua virtual importada y exportada en relación con el comercio internacional de productos porcinos (De Miguel *et al.*, 2015).

Con base en las cifras de De Miguel *et al.* (2015), entre 2001 y 2008 la huella hídrica media para la producción de un cerdo vivo en España se estima en 3,43 m³/kg de peso (83% verde, 7% azul y 10% gris).

Noya *et al.* (2016) presentan los resultados de huella hídrica de la cadena de la carne porcina en Cataluña (tabla 42) calculados con base en las hipótesis presentadas por McAuliffe *et al.* (2016).

Noya *et al.* (2016) estiman una huella hídrica de 1740 l/kg de pienso. Nakamura y Itsubo (2019) consideran para las condiciones de Francia una huella hídrica de 808 l/kg de pienso. Mekonnen y Hoekstra (2010), a nivel mundial, estiman la huella hídrica para los cereales en 1644 l/kg, como promedio entre 1996 y 2005. Novoa *et al.* (2016) estiman 1064 l/kg de cereal en las condiciones de Chile. Zhao *et al.* (2019), en condiciones de Canadá, estiman variaciones de huella hídrica de 1.080 y 1.800 l/kg de trigo y de 900 y 1380 k/kg de cebada. Zhuo *et al.* (2019) estudian las necesidades de agua para el maíz en China y las sitúan en 950 l/kg para 2000 y en 695 l/kg para 2013. Las variaciones entre zonas mundiales en la huella hídrica asociada a la producción de materias primas y de piensos pueden ser importantes, ya que dependerán de la variación anual y local de las condiciones de producción de estas materias primas (secano-regadío, rendimiento, evapotranspiración...).

En la tabla 42 puede verse cómo estos autores estiman una huella hídrica de 5,70 m³ de agua por kilogramo de peso vivo a la salida de granja. Puede verse que la huella hídrica aumenta en la medida en que se incrementa el procesado del producto, llegando a los 10 m³ de agua por kilogramo de *fuet*. A nivel de granja estiman que cerca del 100% se debe a la huella derivada de la producción de piensos y que cerca del 100% es huella en forma de agua verde.

TABLA 42. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA (HH) PARA LOS DIFERENTES PRODUCTOS Y UNIDADES FUNCIONALES DEFINIDAS PARA LA CADENA DE PRODUCCIÓN DE CARNE DE CERDO (NOYA ET AL., 2016).

| Tipo de producto | Unidad de medida | HH (m ³) |
|--|-------------------------|----------------------|
| Producción de pienso | 1 kg de pienso | 1,74 |
| Producción del cerdo en granja | 1 kg de cerdo vivo | 5,7 |
| Matadero | 1 kg de canal de cerdo | 8,1 |
| Proceso de refrigeración/congelación carne | 1 kg de carne de cerdo | 9,6 |
| Procesado y elaboración embutidos | 1 kg de cerdo procesado | 9,10-15,6 |

Tomando en consideración la producción de carne de porcino en España para 2017 y 2018, que se cifra en torno a los 4,3 y 4,5 millones de toneladas, respectivamente (MAPAMA, 2019), pueden estimarse unas necesidades de pienso para porcino de en torno a 11,5 y 12,0 millones de toneladas para los dos años, respectivamente.

En la tabla 43 puede verse la estimación de la huella hídrica asociada a la producción de piensos para porcino en España durante los últimos diez años. La huella hídrica global ha aumentado un 29% de forma proporcional al aumento de la producción de carne de porcino (38%). Los datos ponen de manifiesto que la mejora en la fabricación de piensos y en la conversión de los piensos en carne se traduce en una mejora importante de la huella hídrica (-7%) expresada por kg de carne porcina producida. En la producción porcina actual (2020), para producir 1 kg de carne se utilizan 0,5 m³ de agua verde menos que la que se requería hace diez años (2009).

TABLA 43. PRODUCCIÓN DE CARNE PORCINA Y PIENSO PARA PORCINO, Y LA HUELLA HÍDRICA (HH) ESTIMADA ENTRE LOS AÑOS 2009 Y 2018 (ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE LOS DATOS DEL MAPAMA, 2019).

| Año | Producción carne porcino (MAPAMA; tn) × 10 ⁶ | Producción pienso porcino (MAPAMA; tn) × 10 ⁶ | Huella hídrica estimada (m ³) × 10 ⁶ | Huella hídrica relativa estimada (m ³ /kg carne) |
|------------------------|---|--|---|---|
| 2009 | 3,291 | 13,800 | 24.012 | 7,30 |
| 2010 | 3,369 | 13,658 | 23.766 | 7,05 |
| 2011 | 3,469 | 14,208 | 24.722 | 7,13 |
| 2012 | 3,460 | 13,493 | 23.479 | 6,79 |
| 2013 | 3,431 | 13,190 | 22.950 | 6,69 |
| 2014 | 3,620 | 15,242 | 26.521 | 7,33 |
| 2015 | 3,855 | 14,772 | 25.703 | 6,67 |
| 2016 | 4,181 | 15,222 | 26.486 | 6,33 |
| 2017 | 4,299 | 16,761 | 29.164 | 6,78 |
| 2018 | 4,530 | 17,759 | 30.901 | 6,82 |
| Variación 18-09 | 1,240 | 3,959 | 6.889 | -0,48 |
| Variación 18-09 | | | 29 % | -7% |

En los apartados precedentes se pone de manifiesto que a nivel de granja hay dos aspectos principales que explican la huella hídrica, **las necesidades indirectas de agua** para producir los piensos para alimentar a los animales y **las necesidades directas de agua para bebida y para las tareas de granja**.

3.5 Huella hídrica en la granja porcina: necesidades indirectas de agua

Las necesidades indirectas de agua dependerán del consumo de pienso en la explotación. En las fases de transición y engorde, para medir la eficiencia del consumo de pienso se analiza el índice de conversión, que es el parámetro que mide el consumo de pienso por el incremento de peso del cerdo.

El sector porcino, en los últimos años, ha mejorado sustancialmente los índices productivos, como la mortalidad, el número de lechones destetados por cerda y año, la ganancia media diaria (GMD) y los índices de conversión (IC). Por ejemplo, según datos BD_Porc publicados por el Observatori Porcí (2019), en 1981 cada cerda destetaba 17,9 lechones; en 2018 el número de destetados por cerda productiva casi se duplicó, pasando a 29,9 lechones destetados. Considerando que la huella hídrica por kilogramo de pienso es de 1.740 litros (Noya *et al.*, 2016), la huella hídrica por lechón destetado disminuye de 125,3 m³ a 68,2 m³, representando una reducción del 45% (tabla 44).

TABLA 44. EVOLUCIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA POR EL CONSUMO DE PIENSO EN LA FASE DE REPRODUCCIÓN POR LECHÓN DESTETADO (ELABORACIÓN PROPIA CON LOS DATOS OBTENIDOS DE BD_PORC, 2019).

| Año | Partos/cerda año | NV/parto | Dest./part. | Dest./cerda productiva | Pienso/lechón (kg) | Huella hídrica/lechón (l) |
|------|------------------|----------|-------------|------------------------|--------------------|---------------------------|
| 1981 | 2,13 | 9,5 | 8,3 | 17,9 | 73,743 | 125.363 |
| 2008 | 2,48 | 10,3 | 10,1 | 24,97 | 55,000 | 93.500 |
| 2018 | 2,48 | 14,2 | 12,2 | 29,9 | 40,134 | 68.227 |

En los últimos años, en las fases de transición y engorde, se ha observado una mejora en la evolución del índice de conversión en las explotaciones porcinas de España (figura 44). Puede verse que desde 2008 a 2018 se ha reducido un 13% (de 2,83 a 2,46) en explotaciones de engorde y un 14% (de 1,80 a 1,55) en explotaciones de transición. Esta mejora en la conversión de pienso en carne hace que se requieran menos productos vegetales y repercute de forma directa en la reducción de la huella hídrica en forma de agua verde. Teniendo en cuenta estos índices de conversión durante las fases de transición y cebo, el cerdo consume un 6% menos de pienso (262 vs. 247 kg pienso /cerdo entre 2008 y 2018), disminuyendo la huella hídrica por el consumo de pienso de 456 m³ a 430 m³ por cerdo engordado.

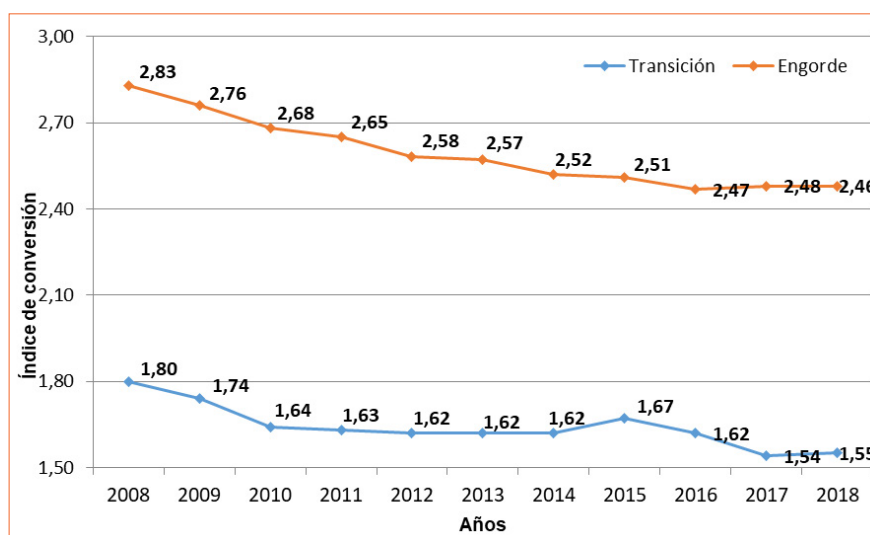


Figura 44. Evolución del índice de conversión en transición y engorde en Cataluña durante el período 2008-2018 (O_Porcí, 2019).

A nivel de granja (condiciones de rendimiento promedio) se puede estimar que en 2008, para producir 1 kg de carne de porcino, se requerían en torno a 3,06 kg de pienso (consumido en las fases de maternidad (cerdas + lechones lactantes), transición y engorde). En cambio, en 2018 esta cifra se reduce hasta los 2,59 kg de pienso necesarios por kilogramo de carne producida, lo que supone una reducción promedio del índice de conversión del 15%.

La huella hídrica por el consumo de pienso disminuye 55 m³ por cerdo producido entre los años 2008 y 2018 (tabla 45).

TABLA 45. EVOLUCIÓN EN EL CONSUMO DE PIENSO PARA LA PRODUCCIÓN DE CERDO ENTRE LOS AÑOS 2008 Y 2018 Y LA HUELLA HÍDRICA PROCEDENTE DEL CONSUMO DE PIENSO (ELABORACIÓN PROPIA).

| | 2008 | 2018 |
|---|------|------|
| Reproducción (kg) | 55 | 40 |
| Transición (kg) | 23 | 22 |
| Engorde (kg) | 239 | 225 |
| Total (kg) | 317 | 285 |
| IC | 3,02 | 2,58 |
| Huella hídrica (m ³ /cerdo) | 552 | 497 |
| Huella hídrica (m ³ /kg peso vivo) | 5,33 | 4,49 |

En términos de huella hídrica, la mejora del 15 % del índice de conversión global se traduce de forma directa en una reducción equivalente en las necesidades de agua para la producción del pienso (ma-

yoritariamente agua verde). Así, en la actualidad podemos cifrar las necesidades indirectas de agua (contenida en el pienso) en 4,40 m³/kg de peso vivo.

La reducción en la huella hídrica derivada de las necesidades alimentarias de los animales debe afrontarse, en primer lugar, con base en potenciar el uso de materias primas en el pienso que requieran menos agua para su obtención. En la práctica, esto puede hacerse poniendo la restricción de huella hídrica en la formulación de los piensos.

En este sentido, Nakamura y Itsubo, (2019) estudiaron los efectos ambientales (las emisiones de CO₂ y la huella hídrica) cuando se utiliza una dieta rica en aminoácidos sintéticos y, por lo tanto, una dieta más ajustada y con un contenido menor de proteína bruta (PB). En este estudio se concluyó que se reducían 100 m³ de agua por tonelada de pienso cuando este se ajustaba con aminoácidos sintéticos, lo que suponía reducir un 14% la huella hídrica.

En segundo lugar, en el entorno de la granja hay que continuar reduciendo el índice de conversión del pienso en carne. Para ello será necesario seguir reduciendo las pérdidas de pienso en el sistema de distribución y suministro, suministrar el pienso de acuerdo con las necesidades de los animales (edad, sexo, estado fisiológico) y utilizar animales más eficientes en la transformación del pienso.

3.6 Huella hídrica en la granja porcina: necesidades directas de agua

En este punto es necesario recordar los datos en relación con el uso de agua en porcino en función de la fase productiva (tabla 46). Hay que estacar la alta necesidad de agua de las cerdas en la fase de lactación (de 20 a 30 l/cerda y día). En cambio, en la fase de transición el cerdo requiere entre 2,5 y 4 l/día y en la engorde, entre 5 y 10 l/día.

TABLA 46. UTILIZACIÓN DIRECTA DE AGUA EN CERDOS EN DIFERENTES FASES PRODUCTIVAS.

| Animal/fase productiva | Valor medio (l/animal y día) | Rango (l/animal y día) |
|---------------------------|------------------------------|------------------------|
| Cerda gestante | 16,2 | 9,7-23,6 |
| Cerda lactante | 25,8 | 20,5-32,2 |
| Lechón de transición | 2,7 | 2,6-3,8 |
| Cerdo crecimiento-engorde | 7,9 | 5,1-8,1 |

Dentro de cada fase productiva, la variabilidad que se presenta en la tabla 46 se debe tanto a las diferencias en el rendimiento de los animales como a las diferencias en los sistemas de manejo de los animales y de las instalaciones.

Con base en los datos de rendimiento de las granjas publicados (BD_Porc, 2019; O_Porcí, 2019) y en las estimaciones de variabilidad en el uso de agua puede estimarse la variabilidad en la huella hídrica directa prevista para las explotaciones españolas en condiciones de rendimiento promedio (tabla 47). Así, en la actualidad se requieren de forma directa en torno a 1.232 l de agua para producir un cerdo de 112 kg de peso vivo, o sea, 11 l de agua por kilogramo de incremento de peso vivo. La fase con mayor demanda de agua directa es el engorde (73%), seguida de la maternidad (19%) y de la transición (8%).

TABLA 47. COMPARACIÓN DEL USO DIRECTO DE AGUA (L/CERDO PRODUCIDO Y L/KG DE INCREMENTO DE PESO VIVO) EN CADA FASE DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN.

| | I/lechón o cerdo vivo producido | I/kg de incremento de peso vivo | Consumo agua en fase producción |
|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Fase de reproducción | 235 | 40 | 19% |
| Fase de transición | 104 | 8,3 | 8,4% |
| Fase de engorde | 893 | 9,5 | 72,6% |
| Todas las fases productivas | 1.232 | 10,9 | 100% |

Como puede verse con base en los datos anteriores, en la granja porcina el uso de agua directa tiene un peso relativo bajo (menos del 1%) en relación con el peso relativo del uso del agua indirecta (más del 99%). Este dato hace hincapié, como ya se ha comentado anteriormente, y como ya apuntan en varias publicaciones (Noya *et al.*, 2016; Dourmad *et al.*, 2014; Reckmann, Traulsen y Krieter, 2013), en que la producción de los alimentos para la producción porcina es el principal factor de consumo de agua, representando casi el 99% del consumo de agua, si el análisis de la huella hídrica termina en el final del engorde.

Con este precedente, para que las granjas porcinas lleguen a la huella hídrica mínima es necesario seguir trabajando en la eficiencia en el uso de agua. La reducción del desperdicio de agua en las granjas tendrá un valor añadido adicional, que es la reducción del volumen de purín, que también tiene su implicación positiva en el contexto de sostenibilidad ambiental.

Para tener un conocimiento más preciso y detallado del uso de agua y de la huella hídrica en las condiciones actuales de cría de las granjas españolas se ha recopilado la información de uso de agua en la granja piloto del Centre d'Estudis Porcins (CEP) y se ha procedido a hacer el seguimiento en algunas granjas comerciales

En la tabla 48 se presentan los datos de uso de agua y relación agua/pienso obtenidos en la granja piloto del Centre d'Estudis Porcins. Estos resultados se han obtenido durante los últimos siete años con los **cerdos de engorde** alojados en corrales con *slat* parcial a los que se les ha suministrado pienso comercial a voluntad en tolva convencional y agua a voluntad en cazoleta. A partir de 2016 se ha llevado un control estricto del caudal y presión de agua en el circuito de distribución. Estos resultados ponen de

manifiesto la posibilidad real de reducir el uso de agua en granja hasta valores próximos a los 3-3,5 litros por animal y día, manteniendo una buena eficiencia en el uso de pienso (índices de conversión entre 2 y 2,4) y un buen ritmo de crecimiento (ganancia media diaria en torno a 750-800 g/día). En condiciones óptimas (adecuado diseño y colocación de los bebederos, ajuste del caudal y de la presión del circuito), el agua desperdiciada en el bebedero no debe superar el 1% del agua total utilizada (Dolz *et al.*, 2016; Babot *et al.*, 2017). También puede verse que la relación agua/pienso puede situarse en torno a los 2 l de agua/kg de pienso. Reducir el uso de agua en engorde hasta estos valores óptimos (huella biológica mínima) permite reducir la huella hídrica en la fase de producción hasta un 25%. En base en ello, en la granja ideal se requerirá en torno a 3.200 litros de agua (0,3 litros en forma de agua de bebida) para producir un kilogramo de carne a nivel de granja.

TABLA 48. USO DE AGUA EN CERDOS DE ENGORDE (DE 18 A 105 KG) OBTENIDOS EN LA GRANJA PILOTO DEL CENTRE D'ESTUDIS PORCINS EN LOS ÚLTIMOS AÑOS.

| Código época estudio | Número de animales | | Peso (kg) | | Duración (días) | GMD (g/d) | IC | Uso de agua | | Agua/pienso |
|----------------------|--------------------|-------|-----------|--------|-----------------|-----------|-------|-------------|-----------|-------------|
| | Inicial | Final | Inicial | Final | | | | l/a y d | l/kg inc. | |
| 2019-S2 | 80 | 80 | 22,6 | 99 | 89 | 857,7 | 1,993 | 3,887 | 4,532 | 2,272 |
| 2019-S1 | 80 | 74 | 18,9 | 103,7 | 113 | 737 | 2,128 | 3,547 | 4,812 | 2,262 |
| 2018-S2 | 80 | 80 | 16,8 | 100,6 | 100 | 830,4 | 2,039 | 3,526 | 4,246 | 2,064 |
| 2018-S1 | 80 | 80 | 21,97 | 101,94 | 98 | 816,1 | 2,135 | 4,247 | 5,205 | 2,438 |
| 2017-S1 | 80 | 71 | 17,9 | 104,12 | 104 | 834,8 | 2,224 | 4,284 | 5,132 | 2,386 |
| 2016-S2 | 80 | 80 | 15,03 | 100,38 | 99 | 862,8 | 2,024 | 3,623 | 4,2 | 2,077 |
| 2016-S1 | 80 | 80 | 20,25 | 98,38 | 98 | 795,2 | 2,116 | 3,802 | 4,782 | 2,254 |
| 2015-S1 | 80 | 78 | 21,31 | 94,21 | 109 | 687,7 | 2,335 | 5,627 | 8,181 | 3,631 |
| 2014-S2 | 80 | 76 | 23,9 | 100,3 | 96 | 636,8 | 2,022 | 4,593 | 7,214 | 2,902 |
| 2014-S1 | 80 | 80 | 22,5 | 101,8 | 110 | 775,6 | 2,328 | 5,54 | 7,144 | 3,301 |
| Media | | | 20,12 | 100,44 | 101,6 | 783,4 | 2,13 | 4,268 | 5,545 | 2,558 |
| Mínimo | | | 15,03 | 94,21 | 89 | 776 | 1,99 | 3,526 | 4,2 | 2,064 |
| Máximo | | | 23,9 | 104,12 | 113 | 779,9 | 2,33 | 5,627 | 8,181 | 3,631 |

En la tabla 49 se presentan los datos obtenidos en dos explotaciones de engorde de porcino como resultado de un primer sondeo referente al uso de agua en condiciones de campo. Estos resultados se han obtenido durante el año 2019 con los cerdos alojados en corrales con *slat* parcial (granja 1) o total (granja 2), a los que se les ha suministrado pienso comercial a voluntad en tolva convencional en una de las granjas y en forma de sopa en otra de las granjas. En las dos granjas se suministraba agua a voluntad en un bebedero de cazoleta.

En términos generales, puede decirse que los resultados son consistentes con lo presentados previamente en la tabla 48 y que fueron obtenidos en la granja piloto CEP, con menor número de animales pero con mayor nivel de precisión en los controles (peso individual de animales, consumo por corral de

agua...). Hay que hacer notar que el elevado uso de agua en bebedero por parte de los animales de la granja A durante el semestre 1 de 2019 (7,11 y 7,27 l/animal y día) se debe a la existencia de un proceso gripal recurrente desde la mitad del período de cebo hasta el final. Esto también pone de manifiesto la sensibilidad del indicador de uso de agua y explica la variabilidad que puede presentarse en diferentes explotaciones con diferentes condiciones de producción, manejo y sanidad.

En todo caso, todo parece indicar que los valores óptimos apuntados previamente respecto al uso de agua (3 a 3,5 l/animal y día) y agua/pienso (2 a 2,5 l agua/kg de pienso) son factibles en las condiciones actuales de las mejores explotaciones porcinas de España.

TABLA 49. RESULTADOS DE USO DE AGUA DE BEBIDA EN DOS GRANJAS COMERCIALES DE PORCINO (A Y C) EN LA FASE DE ENGORDE.

| Código | N.º animales | Peso (kg) | | Duración (días) | GMD (g/d) | IC | Consumo | | Agua/pienso |
|------------|--------------|-----------|-------|-----------------|-----------|------|---------|-----------------|-------------|
| | | Inicial | Final | | | | l/a y d | l/kg inc._ peso | |
| 2019-S1-A1 | 898 | 14,6 | 118,8 | 134 | 777,6 | 2,5 | 7,11 | 9,15 | 3,66 |
| 2019-S1-A2 | 899 | 18,8 | 118,8 | 123 | 813,0 | 2,5 | 7,27 | 8,94 | 3,58 |
| 2019-S2-A1 | 935 | 18,9 | 111,9 | 139 | 669,1 | 2,35 | 3,81 | 5,70 | 2,43 |
| 2019-S2-A2 | 936 | 15,9 | 111,9 | 143 | 671,3 | 2,35 | 3,37 | 5,02 | 2,14 |
| 2019-S1-C1 | 219 | 9 | 111 | 126 | 809,5 | | 7,91 | 9,77 | 5,32 |
| 2019-S1-C2 | 219 | 9 | 111 | 126 | 809,5 | | 8,65 | 10,69 | 5,63 |
| 2019-S2-C1 | 174 | 9 | 110 | 140 | 721,4 | | 7,15 | 9,91 | 4,17 |
| 2019-S2-C2 | 180 | 9 | 110 | 140 | 721,4 | | 6,47 | 8,97 | 3,79 |
| Media | | 13,0 | 112,9 | 134 | 749,1 | 2,43 | 6,47 | 8,52 | 3,84 |
| Mínimo | | 9 | 110 | 123 | 669,1 | 2,35 | 3,37 | 5,02 | 2,14 |
| Máximo | | 18,9 | 118,8 | 143 | 813,0 | 2,50 | 8,65 | 10,69 | 5,64 |

En la tabla 50 se presentan los datos de uso de agua y relación agua/pienso obtenidos en la granja piloto del Centre d'Estudis Porcins. Estos resultados se han obtenido durante los últimos siete años con los **cerdos en fase de transición** alojados en corrales con *slat* total de PVC a los que se les ha suministrado pienso comercial a voluntad en tolva convencional y agua a voluntad en cazoleta.

Los datos de la tabla 50 ponen de manifiesto una media de uso de agua de 4,4 l/animal y día con una variación que oscila entre los 2,6 y 5,8 l/animal y día. Hay que indicar que en este caso no se han tomado medidas de reducción del uso del agua en relación con la presión y flujo del circuito de agua. En el caso de optimizar el tipo de cazoleta y de ajustar la presión y caudal del circuito cabe esperar una reducción en el uso de agua y una mayor homogeneidad en la relación agua/pienso.

TABLA 50. USO DE AGUA EN CERDOS DE TRANSICIÓN (DE 6 A 18 KG) OBTENIDOS EN LA GRANJA PILOTO DEL CENTRE D'ESTUDIS PORCINS EN LOS ÚLTIMOS AÑOS.

| Estudio | N.º animales | Peso (kg) | | GMD (g/día) | Duración (días) | IC | Consumo | | Agua/pienso |
|---------------|--------------|------------|-------------|--------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| | | Inicial | Final | | | | l/a y d | l/kg inc. | |
| 2019-S1 | 78 | 5,9 | 22,3 | 336,1 | 49 | 1,405 | 3,15 | 9,37 | 6,73 |
| 2017-S2 | 80 | 5,7 | 17,7 | 285,0 | 42 | 1,652 | 4,65 | 16,30 | 9,87 |
| 2014-S2 | 78 | 5,6 | 17,2 | 331,1 | 35 | 1,607 | 4,97 | 15,00 | 9,45 |
| 2014-S1 | 78 | 7,3 | 22,9 | 364,0 | 43 | 1,405 | 2,61 | 7,18 | 5,11 |
| 2013-S2 | 64 | 6,2 | 19,5 | 391,8 | 34 | 5,099 | 5,89 | 15,04 | 2,95 |
| 2013-S1 | 177 | 8,3 | 24,8 | 383,7 | 43 | 1,610 | 5,10 | 13,29 | 8,33 |
| Media | | 6,5 | 20,7 | 348,6 | 41 | 2,130 | 4,395 | 12,70 | 7,46 |
| Mínimo | | 5,6 | 17,2 | 285,0 | 34 | 1,405 | 2,614 | 7,18 | 2,95 |
| Máximo | | 8,3 | 24,8 | 391,8 | 49 | 5,099 | 5,892 | 16,30 | 9,87 |

En la tabla 51 se presentan los resultados obtenidos durante los meses de julio y agosto en una granja de transición con alimentación líquida. Los animales son alojados en corrales con *slat* de PVC y se les suministra agua a voluntad en bebederos de cazoleta. En este caso el uso total de agua (bebedero + alimentación líquida) se cifra en torno a los 2,6 litros/animal y día. En el bebedero se utilizó el 25% del agua total y el comportamiento en el uso total de agua fue mucho más homogéneo que el presentado en la granja piloto CEP.

TABLA 51. USO DE AGUA EN GRANJAS DE PRODUCCIÓN DE LECHONES EN FASE DE TRANSICIÓN CON ALIMENTACIÓN LÍQUIDA.

| Código | N.º animales | Peso (kg) | | Duración (días) | GMD (g/d) | IC | Uso agua | |
|--------------------|--------------|------------|-------------|-----------------|--------------|-------------|-------------|--------------|
| | | Inicial | Final | | | | (l/a y d) | (l/kg inc.) |
| 2019-JULIO-G1 | 941 | 5 | 19 | 41 | 341,5 | 1,74 | 2,65 | 7,76 |
| 2019-JULIO-G2 | 902 | 5 | 17 | 33 | 363,6 | 1,74 | 2,87 | 7,89 |
| 2019-AGOSTO-G1 | 1.035 | 4,4 | 20 | 40 | 390,0 | 1,74 | 2,65 | 6,80 |
| 2019-AGOSTO-G2 | 1.124 | 4,4 | 17 | 33 | 381,8 | 1,74 | 2,72 | 7,13 |
| 2019-AGOSTO-G3 | 992 | 4,4 | 20 | 42 | 371,4 | 1,74 | 2,50 | 6,72 |
| 2019-AGOSTO-G4 | 1.054 | 4,4 | 17 | 33 | 381,8 | 1,74 | 2,66 | 6,97 |
| 2019-SEPTIEMBRE-G1 | 1.217 | 5,8 | 22 | 46 | 352,2 | 1,74 | 2,34 | 6,64 |
| 2019-SEPTIEMBRE-G1 | 1.086 | 5 | 19 | 41 | 341,5 | 1,74 | 2,23 | 6,52 |
| Media | | 4,8 | 18,8 | 38,6 | 365,4 | 1,74 | 2,58 | 7,054 |
| Mínimo | | 4,4 | 17 | 33 | 341,4 | 1,74 | 2,23 | 6,522 |
| Máximo | | 5,8 | 22 | 46 | 390,0 | 1,74 | 2,87 | 7,888 |

En la tabla 52 se presentan los datos de uso de agua en una **granja de madres**, obtenidos al tomar datos de una sala de cada tipo (gestación control, gestación confirmada, primíparas y partos). Los resultados obtenidos en esta granja, 24 l/animal y día para las cerdas lactantes y 14 l/animal y día para primerizas y gestantes, son concordantes con los resultados obtenidos en bibliografía y presentados en la tabla 46. En este caso ha sido posible cuantificar también el agua de limpieza y el agua de refrigeración. Así se estima un uso medio de 6,55 l/animal y día para la limpieza de las parideras y menos de 1 l/animal y día para el resto de zonas de la granja. El uso de agua para refrigeración se cifra en 6,4 l/animal y día en las salas de partos y entre 2 y 2,5 l/animal y día en el resto de alojamientos.

TABLA 52. USO DE AGUA EN UNA GRANJA DE MADRES.

| Descripción | Recela primerizas | G. control | G. confirmada | Parideras |
|--|-------------------|------------|---------------|------------|
| Fecha inicio | 22-4-2019 | 22-4-2019 | 22-4-2019 | 22-4-2019 |
| Fecha final | 25-11-2019 | 25-11-2019 | 25-11-2019 | 25-11-2019 |
| Número animales | 312 | 348 | 359 | 91 |
| Días | 217 | 217 | 217 | 217 |
| Consumo agua bebida (l/animal y día) | 13,07 | 14,08 | 14,41 | 24,40 |
| Consumo agua <i>cooling</i> (l/animal y día) | 2,36 | 2,09 | 2,39 | 6,39 |
| Consumo agua para limpieza (l/animal y día) | 0,02 | 0,28 | 0,74 | 6,55 |
| Consumo total (l/animal y día) | 15,45 | 16,46 | 17,55 | 37,33 |

Extrapolando los resultados obtenidos en la tabla 56 para una granja de 3.350 cerdas manejadas en bandas semanales, puede estimarse el uso de agua total de la granja (tabla 53). Así, puede verse que el uso total diario se estima en 70.160 litros/día, de los cuales el 36% corresponde a la zona de parideras y el 32%, a la zona de gestación confirmada.

TABLA 53. ESTIMACIÓN DE USO DE AGUA EN UNA GRANJA DE MADRES DE 3.350 CERDAS PRODUCTIVAS.

| | G. confirmada | G. control | Recela primerizas | Parideras | Total | Total (l/a y d) |
|--|---------------|------------|-------------------|-----------|--------|-----------------|
| N.º cerdas | 1.276 | 1.015 | 387 | 672 | 3.350 | |
| Consumo diario de agua de bebida (l) | 18.389 | 14.294 | 5.059 | 16.395 | 54.137 | 16 |
| % | 26% | 20% | 7% | 23% | 77% | |
| Consumo diario de agua de <i>cooling</i> (l) | 3.053 | 2.123 | 913 | 4.291 | 10.379 | 3 |
| % | 4% | 3% | 1% | 6% | 15% | |

| | G. confirmada | G. control | Recela primerizas | Parideras | Total | Total (l/a y d) |
|-------------------------------------|---------------|------------|----------------------|-----------|--------|--------------------|
| Consumo diario agua de limpieza (l) | 947 | 288 | 7 | 4.402 | 5.644 | 2 |
| % | 1% | 0% | 0% | 6% | 8% | |
| Consumo total diario (l) | 22.389 | 16.704 | 5.979 | 25.088 | 70.160 | 21 |
| % | 32% | 24% | 9% | 36% | 100% | |

3.7 Huella hídrica en la granja porcina: necesidades totales de agua

Las necesidades totales se obtendrán considerando las necesidades indirectas y directas valoradas en los apartados precedentes.

La variabilidad en el rendimiento de las granjas de reproductoras porcinas españolas puede verse en los datos del BD_Porc (2019) presentados en la tabla 54. Para el año 2018, la media de destetados por cerda y año fue de 29,97 lechones; en este contexto las mejores explotaciones llegaban a producir 34,73 lechones por cerda y año y las peores se quedaban 26,39 lechones por cerda y año.

TABLA 54. VARIABILIDAD EN EL RENDIMIENTO DE LAS GRANJAS DE REPRODUCTORAS PORCINAS ESPAÑOLAS (BD_PORC, 2019).

| | Peor | Media | Mejor |
|----------------------------------|-------|-------|-------|
| Lech. dest./cerda pres. y año | 19,07 | 25,72 | 32,14 |
| Lech. dest./cerda en prod. y año | 26,39 | 29,97 | 34,73 |
| Nacidos totales/camada | 13,9 | 15,58 | 17,8 |
| Nacidos vivos/camada | 12,71 | 14,26 | 16,28 |
| Nacidos muertos/camada | 1,19 | 1,33 | 1,52 |
| Destetados/camada | 10,81 | 12,2 | 14,11 |
| % bajas hasta destete sobre NT | 17,77 | 19,35 | 19,84 |
| Núm. partos/cerda pres. y año | 1,76 | 2,11 | 2,28 |
| Núm. partos/cerda en prod. y año | 2,44 | 2,46 | 2,46 |
| Índice partos | 81,28 | 85,73 | 89,23 |
| Intervalo entre partos (días) | 149 | 149 | 148 |

Para simular la variabilidad de las granjas porcinas en las fases de transición y engorde (tabla 55) se han utilizado los datos publicados del *Informe anual del sector porcino* (2018) publicado por el O_Porcí

(2019), asumiendo una distribución normal y una diferencia de las explotaciones peores y mejores respecto a la media de entre el 10 y 15%.

TABLA 55. DATOS PRODUCTIVOS EN LAS FASES DE TRANSICIÓN Y ENGORDE DE CERDOS EN PRODUCCIÓN INTENSIVA SUPONIENDO TRES NIVELES DE PRODUCCIÓN (PEOR, MEDIA Y MEJOR) (ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE LOS DATOS DEL O_PORCÍ, 2019).

| | Datos productivos | Peor | Media | Mejor |
|------------|-------------------------------|------|-------|-------|
| Transición | Peso inicial (kg) | 6 | 5,9 | 6 |
| | Peso final (kg) | 19 | 18,3 | 20 |
| | Mortalidad (%) | 6 | 4,5 | 2 |
| | Índice conversión | 1,8 | 1,55 | 1,2 |
| | Ganancia media diaria (g/día) | 245 | 300 | 358 |
| | Duración del período (días) | 53 | 41 | 39 |
| Engorde | Peso inicial (kg) | 18 | 18,19 | 18 |
| | Peso final (kg) | 110 | 112,3 | 110 |
| | Mortalidad (%) | 6 | 4,5 | 2 |
| | Índice de conversión | 2,8 | 2,46 | 2,2 |
| | Ganancia media diaria (g/día) | 640 | 694 | 780 |
| | Duración del período (días) | 142 | 135 | 118 |

En base a los datos de rendimiento de las granjas publicados BD_Porc y O_Porcí (tablas 54 y 55) y las estimaciones de variabilidad en el uso de agua (tabla 46), puede estimarse la variabilidad en la huella hídrica para las explotaciones españolas en función de su rendimiento. Se han simulado las condiciones de rendimiento y manejo para tres escenarios: peores, media, mejores. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 56. Puede verse que la huella hídrica media estimada para la producción porcina en España se sitúa en 494 m³ de agua por cerdo vivo producido. Esto supone que en explotaciones tipo media se requieran 4.407 l de agua por kilogramo de peso vivo; esta cifra puede reducirse en un 15% (3.806 l/kg PV) para las explotaciones mejores y aumentarse en un 15% (5.088 l/kg PV) para peores.

TABLA 56. COMPARACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA (L/CERDO ENGORDADO Y L/KG DE CERDO ENGORDADO) EN CADA FASE DE LA CADENA DE PRODUCCIÓN (REPRODUCCIÓN, TRANSICIÓN Y ENGORDE) TENIENDO EN CUENTA TRES NIVELES DE RENDIMIENTO (PEOR, MEDIA, MEJOR).

| | l/lechón o cerdo producido | | | l/kg de incremento peso vivo | | |
|-----------------------------|----------------------------|---------|---------|------------------------------|--------|---------|
| | Peores | Media | Mejores | Peores | Media | Mejores |
| Fase de reproducción | 85.407 | 68.304 | 53.007 | 14.235 | 11.518 | 8.835 |
| Fase de transición | 39.971 | 32.830 | 28.646 | 3.075 | 2.643 | 2.046 |
| Fase de engorde | 434.312 | 393.625 | 345.656 | 4.773 | 4.290 | 3.747 |
| Todas las fases productivas | 559.690 | 494.759 | 427.309 | 5.088 | 4.407 | 3.806 |

Cuando analizamos el uso de agua en las diferentes fases productivas, observamos que la fase con un mayor uso es la fase de engorde, representado más del 78% del consumo de agua; en cambio, la fase con menor consumo es la de transición (alrededor del 8%). El uso de agua en la fase de producción de lechones se duplica en relación con el uso de agua en la fase de transición, ya que también se requiere sumar la parte proporcional del consumo de la cerda

En la figura 45 se presenta la estimación de la evolución de la huella hídrica en las explotaciones españolas desde el año 1990 a 2018. Estos resultados se han obtenido utilizando los datos históricos publicados por MARM en el año 2016, que fueron utilizados para la elaboración de las bases zootécnicas para el cálculo de balance alimentario de nitrógeno y fósforo para el porcino blanco. Puede verse que se estima que en los últimos treinta años el sector porcino español ha podido reducir la huella hídrica en la fase de producción en torno al 30%.

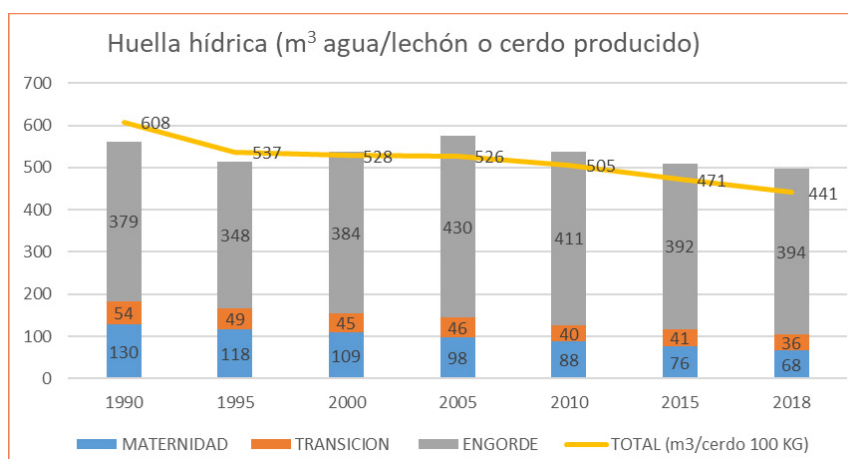


Figura 45. Estimación de la evolución de la huella hídrica del sector porcino español en las últimas décadas (de 1990 a 2018).

3.8 Huella hídrica gris (generación de purines)

Finalmente, es necesario abordar el impacto de la producción porcina en términos de huella hídrica gris. Hay que hacer notar que la huella gris sólo debe asociarse a la generación de purines si estos no pueden gestionarse como subproductos y pasan a ser excedentarios y considerados como residuos.

La producción porcina genera alrededor de 51 hm³/año de purines si se calcula a partir del censo del 2019 (MAPA, 2020) y los coeficientes de máxima generación que se describen en el Real Decreto 306/2020¹. Cuando este censo se multiplica por los coeficientes de generación de nitrógeno de los purines descritos en el *Balance del nitrógeno en la agricultura española 2018* (MAPA, 2018), se obtiene que el sector genera alrededor de 242.000 toneladas de nitrógeno, generado un excedente de más de 85.000 toneladas de nitrógeno (tabla 57).

Se ha definido agua gris (*grey water*) como la cantidad de agua necesaria para gestionar el exceso de residuos producidos manteniendo los niveles *standard* en la calidad medioambiental del agua. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, o WHO, por sus siglas en inglés), el nivel máximo permitido de nitratos en agua no debe pasar de 50 mg/l, valor establecido para prevenir el efecto tóxico a corto plazo por la producción de metahemoglobinemia (WHO, 2017). Cuando se calcula el agua necesaria para poder utilizar los excedentes de nitrógeno generado por la cabaña porcina se obtiene un valor de 1.709 hm³ de agua (tabla 57), lo que supone en torno a 400-450 l de agua gris por cada kilogramo de carne de porcino producida en el año 2016. Este es un valor que permite una cuantificación aproximada de la problemática, pero en ningún caso debe considerarse que el problema puede resolverse mediante dilución; es más, diluir para reducir el problema de los excedentes puede significar utilizar más agua que la estimada, para reducir la concentración de salinidad, metales pesados, materia orgánica, fósforo, etc. En la práctica, lo que se propone es todo lo contrario, uso eficiente del agua en la granja para reducir el contenido de agua en el purín, y, así, reducir el problema y el coste de gestión de este.

Este volumen de agua gris se puede reducir según la gestión que se realice en la explotación y/o si se realiza un tratamiento adecuado de las deyecciones. Nakamura e Itsubo (2019) observan que una dieta baja en proteína, pero equilibrada con aminoácidos sintéticos, reduce la huella hídrica indirecta en 100 m³ por tonelada de alimento, pasando de 808 a 695 m³/tonelada de alimento. La huella hídrica directa también se reduce al disminuir el uso de agua y el nitrógeno excretado.

En este sentido, con la utilización de dietas más ajustada y eficientes en el uso de la proteína puede conseguirse una importante reducción de la huella hídrica, ya que, aparte de reducir el consumo de agua, también se reduce el volumen de purines y la excreción de nitrógeno (Wang *et al.*, 2018; Aarnink y Versteegen, 2007). Por tanto, este tipo de acciones tienen un efecto en la huella hídrica verde (disminución del consumo de agua) y en la huella hídrica gris (menor cantidad de nitrógeno que gestionar como deyección).

1. Real Decreto 306/2020, de 11 de febrero, por el que se establecen normas básicas de ordenación de las granjas porcinas intensivas, y se modifica la normativa básica de ordenación de las explotaciones de ganado porcino extensivo.

TABLA 57. NITRÓGENO EXCEDENTE Y SU EFECTO EN ESPAÑA POR PROVINCIA Y SU CÁLCULO (ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE LOS DATOS DEL *BALANCE DE NITRÓGENO* DEL MAPA, 2018).

| Provincia | Cantidad de nitrógeno (N) excedente (t) | Huella gris (m ³ H ₂ O) | % |
|------------|---|---|-------|
| Huesca | 14.800 | 296.000.000 | 17,3% |
| Teruel | 4.358 | 87.160.000 | 5,1% |
| Zaragoza | 7.047 | 140.940.000 | 8,2% |
| Barcelona | 8.833 | 176.660.000 | 10,3% |
| Girona | 1.439 | 28.780.000 | 1,7% |
| Lleida | 22.560 | 451.200.000 | 26,4% |
| Tarragona | 2.280 | 45.600.000 | 2,7% |
| Baleares | 140 | 2.800.000 | 0,2% |
| Burgos | 1.683 | 33.660.000 | 2,0% |
| Segovia | 5.454 | 109.080.000 | 6,4% |
| Soria | 3.060 | 61.200.000 | 3,6% |
| Cuenca | 1.204 | 24.080.000 | 1,4% |
| Toledo | 5.197 | 103.940.000 | 6,1% |
| Castellón | 2.078 | 41.560.000 | 2,4% |
| Murcia | 4.440 | 88.800.000 | 5,2% |
| Jaén | 502 | 10.040.000 | 0,6% |
| Las Palmas | 192 | 3.840.000 | 0,2% |
| Tenerife | 194 | 3.880.000 | 0,2% |
| Excedente | 85.461 | 1.709.220.000 | |

Teniendo en cuenta el censo porcino de 2016, utilizado para obtener los resultados presentados en la tabla 58, se ha estimado la reducción de la huella gris según nivel de reducción de proteína bruta en el pienso sin perjudicar los índices productivos. Se han comparado cuatro niveles de reducción de proteína bruta (5% rep./15% eng., 10% rep./20% eng., 5% rep./25% eng. y 10% rep./35% eng.), combinando valores de reducción del 5 y el 10% en la fase de reproducción (rep.) con valores de reducción del 10, 25 y 35% en crecimiento-engorde (eng.).

Se puede observar (tabla 58) que usando dietas equilibradas y con menor proteína bruta se puede conseguir reducir entre el 30 y 68% del nitrógeno excedentario; esto implica una reducción de entre 506 y 1.171 hm³.

TABLA 58. EXCEDENTE DE NITRÓGENO (TONELADAS) Y REDUCCIÓN DEL NITRÓGENO EXCEDENTARIO AL USAR DIETAS CON DIFERENTE CONTENIDO DE PROTEÍNA BRUTA EN LA FASE DE REPRODUCCIÓN (REP.) Y EN LA DE ENGORDE (ENG.) (ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE LOS CENSOS PORCINOS DE 2016).

| | Excedente (t de N) | Reducción del excedente (t de N) | | | |
|--------------------------------|--------------------|----------------------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | | 5% rep./15% eng. | 10% rep./20% eng. | 5% rep./25% eng. | 10% rep./35% eng. |
| Huesca | 14.800 | 4.430 | 6.023 | 7.269 | 10.280 |
| Teruel | 4.358 | 1.257 | 1.715 | 2.056 | 2.914 |
| Zaragoza | 7.047 | 2.806 | 3.892 | 4.526 | 6.473 |
| Barcelona | 8.833 | 2.060 | 2.857 | 3.324 | 4.752 |
| Girona | 1.439 | 1.160 | 1.596 | 1.883 | 2.681 |
| Lleida | 22.560 | 5.460 | 7.474 | 8.906 | 12.643 |
| Tarragona | 2.280 | 543 | 751 | 879 | 1.254 |
| Baleares | 140 | 47 | 71 | 69 | 105 |
| Burgos | 1.683 | 553 | 765 | 894 | 1.276 |
| Segovia | 5.454 | 1.325 | 1.846 | 2.130 | 3.053 |
| Soria | 3.060 | 578 | 798 | 937 | 1.336 |
| Cuenca | 1.204 | 261 | 364 | 419 | 601 |
| Toledo | 5.197 | 1.225 | 1.693 | 1.982 | 2.829 |
| Castellón | 2.078 | 849 | 1.156 | 1.393 | 1.971 |
| Murcia | 4.440 | 2.540 | 3.469 | 4.151 | 5.886 |
| Jaén | 502 | 140 | 199 | 220 | 320 |
| Las Palmas | 192 | 29 | 42 | 45 | 66 |
| Tenerife | 194 | 39 | 54 | 63 | 90 |
| Sumatorio | 85.461 | 25.303 | 34.766 | 41.144 | 58.527 |
| Cantidad excedente | | 60.158 | 50.695 | 44.317 | 26.934 |
| % reducción excedente | | 30% | 41% | 48% | 68% |
| Huella gris (Hm ³) | 1.709 | 1.203 | 1.014 | 886 | 539 |

Por otra parte, la utilización de dietas con niveles bajos en proteína bruta y equilibradas en aminoácidos reduce un 10% la cantidad de purines (Dourmad y Jondreville, 2007), lo que reduce la necesidad de recursos para su gestión y transporte.

En la tabla 59 se presentan las estimaciones de generación de purines y las emisiones (t CO₂ eq.) obtenidas al considerar el tipo de granja (peor, media y mejor en relación con el volumen de purín producido) y si la granja debe gestionar sus purines en zona excedentario o no excedentaria.

En zona no excedentaria, las peores granjas incrementan las emisiones entre 5.000 y 6.000 t CO₂ eq. en el transporte y aplicación con respecto a las mejores granjas.

En zona excedentaria, las peores granjas incrementan las emisiones en torno a 15.000 t CO₂ eq. en el transporte y aplicación con respecto a las mejores granjas.

TABLA 59. GENERACIÓN DE PURINES Y EMISIONES EN FUNCIÓN DEL TIPO DE GRANJA (PEOR, MEDIA, MEJOR) Y DE SI ESTÁ SITUADA EN ZONA NO EXCEDENTARIA O EXCEDENTARIA.

| | Transporte | Emisiones | Generación de purines (×10 ³ m ³) | | | Emisiones (t CO ₂ eq.). | | |
|---|------------|--|---|--------|--------|------------------------------------|---------|--------|
| | (km) | (kg CO ₂ eq./ m ³) | Peor | Media | Mejor | Peor | Media | Mejor |
| No excedente | 3 | 0,86 | 33.252 | 29.927 | 26.934 | 28.558 | 25.703 | 23.132 |
| | 4 | 0,90 | | | | 29.774 | 26.796 | 24.117 |
| | 5 | 0,94 | | | | 31.349 | 28.214 | 25.393 |
| Excedente | 50 | 2,46 | 16.641 | 14.977 | 13.480 | 81.780 | 73.602 | 66.241 |
| No excedente (distancia media campo a 3 km) y excedente a 50 km | | | | | | 110.338 | 99.304 | 89.374 |
| No excedente (distancia media campo a 4 km) y excedente a 50 km | | | | | | 111.553 | 100.398 | 90.358 |
| No excedente (distancia media campo a 5 km) y excedente a 50 km | | | | | | 113.129 | 101.816 | 91.634 |

Se debe tener en cuenta que los purines excedentarios en una zona implican un coste energético mayor para su gestión, ya sea para su transporte (>50 km) o porque necesiten algún tratamiento para concentrar o eliminar los nutrientes, principalmente N y P.

En esta línea, otra opción para gestionar los excedentes es mediante los tratamientos en la propia granja o mediante un gestor autorizado (tabla 60). Por una parte, los tratamientos permiten reducir los volúmenes de transporte concentrando los nutrientes (como el nitrógeno y potasio), y, por otro lado, también permiten la eliminación de los nutrientes como el nitrógeno mediante un sistema NDN.

TABLA 60. RENDIMIENTO Y EMISIONES (T CO2 EQ.) EN FUNCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO APLICADO.

| Sep SL | Emisiones | Rendimiento | | Excedente | | Emisiones tratamiento | |
|------------|---|-------------|-----|----------------|------------|-----------------------|---|
| | kg CO ₂ eq./ m ³ | N | P | m ³ | kg N | t CO ₂ eq. | kg CO ₂ eq./kg N exportado y/o eliminado |
| Centrífuga | 1,833 | 50% | 80% | 11.589.610 | 53.291.314 | 21.239 | 0,80 |
| Tamiz + CP | 0,297 | 18% | 35% | | | 3.444 | 0,36 |
| sep SL+NDN | 6,48 | 80% | 80% | | | 75.101 | 1,76 |

CAPÍTULO 4. RECOMENDACIONES PARA UN USO EFICIENTE DEL AGUA EN GRANJAS PORCINAS

4.1 Aspectos generales

Todas las actividades que se desarrollan en una granja pueden contribuir al impacto que esta tiene sobre el ambiente, por lo tanto, se hace necesario que estas actividades se lleven a cabo de forma controlada, responsable, organizada y bajo criterios de sostenibilidad y eficacia.

Cabe destacar los siguientes aspectos de ámbito general:

- Emplear personal cualificado y disponer de un plan de formación continuada que actualice los conocimientos a medida que se introducen avances tecnológicos.
- Adecuada planificación de las actividades con el fin de minimizar el riesgo de que se produzcan ineficiencias y emisiones innecesarias.
- Tener mecanismos oficiales de control. Monitorización del uso de recursos primarios (agua, energía, alimento...) y la generación de residuos (purines), lo cual permitirá, una vez evaluados los registros, identificar las áreas que mejorar.
- Existencia de un plan de emergencia para afrontar emisiones no planeadas e incidentes imprevistos.
- Existencia de un programa de mantenimiento y reparación de los equipos junto con la adecuada formación del personal encargado de este.

Otros aspectos que destacar en relación con el manejo general de los animales y de los alojamientos son los siguientes:

- Mantener un nivel adecuado de higiene y sanidad en la explotación.
- Mantener una temperatura confortable en los diferentes alojamientos y zonas internas de estos.
- Mantener una densidad de animales adecuada en los diferentes parques.

- Manejo de la ventilación y refrigeración de forma adecuada para disponer de un ambiente confortable para los animales.
- Reducir el movimiento de aire a nivel de los purines.

Con respecto al agua utilizada en la granja, la recomendación general es reducir la cantidad de agua malgastada a todos los niveles, que finalmente irá a parar a la fosa de purines (agua administrada a los animales, de limpieza o refrigeración).

Para reducir el uso de agua en la granja porcina proponemos una serie de recomendaciones específicas, obtenidas de diferentes publicaciones sobre gestión del agua en explotaciones porcinas y de la experiencia acumulada al realizar diversos estudios en granja piloto (CEP) y granjas comerciales de la provincia de Lleida.

1. Circuito de distribución y suministro de agua.
2. Bebederos.
3. Regulación y mantenimiento de bebederos.
4. Manejo general de los animales.
5. Calidad del agua de bebida.
6. Agua de limpieza.

4.2 Circuito de distribución para el suministro de agua

4.2.1 Diseño y control general del circuito de distribución de agua

- **Tener un circuito de agua (figura 44) con todos los elementos y equipos de regulación y control indispensables** (depósito de agua, contador de agua, equipo de tratamiento y filtrado, regulador de presión, manómetro, equipo de dosificación, tuberías de distribución, llaves de paso y bebederos).

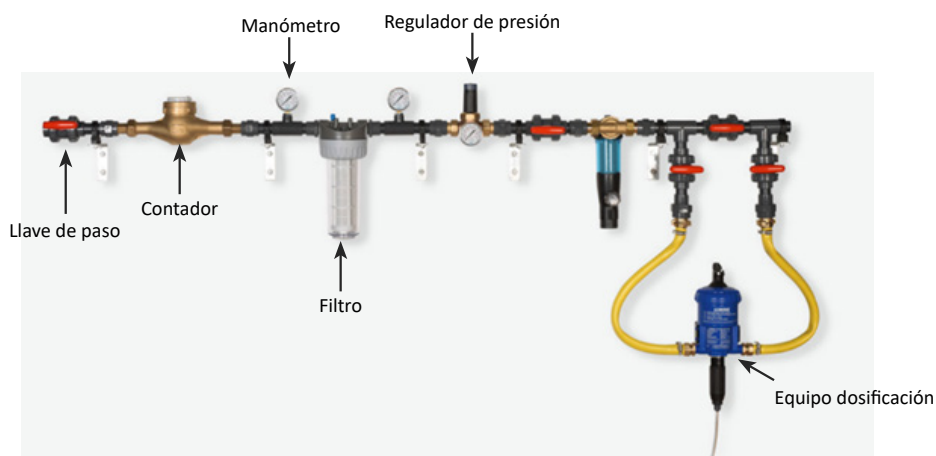


Figura 46. Representación esquemática de los principales elementos de un circuito de distribución de agua en granjas.

- **Tener un sistema de registro general del uso de agua** (usada en los bebederos, de limpieza, para refrigeración...) en la explotación y en las diferentes actividades de esta (madres, transición, engorde...).
- **Tener un plan de control y seguimiento del uso del agua** mediante medición, registro y valoración sistemática (diaria, semanal, mensual...) de la utilización de agua; además, es necesario realizar una comparación sistemática de la situación de uso de agua en la granja en relación con los valores estandarizados o los valores objetivo de la granja.

4.2.2 Mantenimiento del circuito de distribución de agua

Calibrar con regularidad el circuito general de suministro de agua: es necesario que la presión y el caudal del circuito general y de cada una de las secciones (maternidad, transición y engorde) mantengan una presión y caudal adecuados al tipo de animales en función del tipo de bebedero utilizado.

Localización y reparación de fugas de forma sistemática: la principal causa de las fugas de agua es la existencia de fisuras en las zonas de soldadura de canales y cazoletas. También aparecen fisuras en las uniones de PVC que se encolan en las conducciones del mismo material. Otro punto de pérdida son las uniones con rosca de las conducciones generales, especialmente si son metálicas, de polietileno o PVC.

Prevención de la obstrucción de las conducciones: las conducciones de agua pueden obstruirse con el tiempo por incrustaciones calcáreas y la formación de biofilm. Para eliminar **el biofilm**, se utilizan habitualmente biocidas, aunque su eficacia es dudosa si la capa de film es gruesa. Los biocidas más habituales son el cloro, el peróxido de hidrógeno (10%), el dióxido de cloro y el ozono. Es importante rotar los biocidas para evitar la adaptación de los microorganismos. Existen otros sistemas alternativos, como la higienización previa del agua con radiación ultravioleta, la desinfección solar fotocatalítica, la filtración y la utilización de campos electromagnéticos. Para eliminar **las incrustaciones calcáreas** existen resinas de intercambio catiónico, electroimanes que se fijan alrededor de las tuberías o la utilización de pulsos radioelectromagnéticos de baja frecuencia o incluso la utilización de conducciones y válvulas con revestimiento antiadherente.



4.3 Bebederos

4.3.1 Selección del tipo de bebedero

En la selección del tipo de bebedero hay que tener en cuenta el diseño, los materiales y las dimensiones funcionales (abertura disponible para los animales, anchura y profundidad) (figura 47).

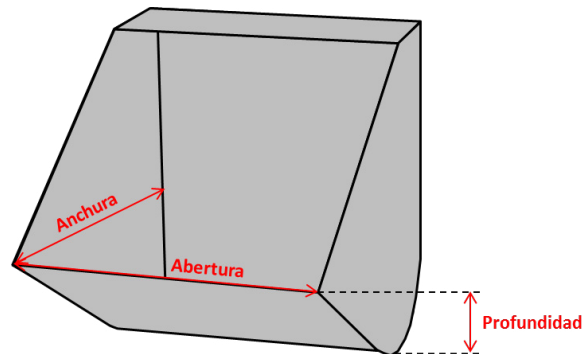


Figura 47. Dimensiones funcionales del bebedero.

Respecto al diseño y a los materiales de los bebederos, es recomendable utilizar materiales resistentes, poco absorbentes y fáciles de limpiar (tipo acero-inox o resinas plásticas). Los diseños redondeados, sin zonas de difícil acceso, evitan las heridas en los animales y facilitan la limpieza.

Respecto a las dimensiones, la más limitante es la abertura disponible, que debe ser acorde al tipo de animal para facilitar la bebida y reducir el desperdicio de agua.

En la tabla 61 pueden verse los valores mínimos de abertura recomendada para bebederos de cazoleta (Department for Environment Food and Rural, 2003, 2006; NFACC, 2014).

TABLA 61. VALORES MÍNIMOS DE ABERTURA RECOMENDADA PARA BEBEDEROS DE CAZOLETA (DEPARTMENT FOR ENVIRONMENT FOOD AND RURAL, 2003, 2006; NFACC, 2014).

| Peso (kg) | Abertura frontal del comedero o bebedero (cm) |
|---------------------|---|
| Lechones lactantes | 10 |
| Transición, 6-20 kg | 16 |
| Engorde, 20-110 kg | 28 |
| Reproductoras | 32 |

En **transición**, el bebedero que proporciona mayor ahorro en el consumo de agua es la cazoleta con chupete tipo pitorro (figura 48 y figura 49). No se han encontrado diferencias de uso de agua entre cazoletas cuadradas y redondas o elípticas.

Los bebederos que registran mayores desperdicios de agua son los chupetes instalados de forma independiente. Tampoco hay grandes diferencias en el ahorro de agua entre chupetes pico-pato, bola o cilíndrico.

En cerdos de **crecimiento-engorde** se recomiendan los bebederos de cazoleta (figuras 48 y 49) y las tolvas con chupete incorporado (figura 50). Esto es porque se observa una mayor eficiencia en el uso del agua en este tipo de bebederos frente a los diferentes tipos de chupetes.

En **cerdas gestantes** se observa una mayor eficiencia en el uso del agua con bebederos que disponen de válvula de nivel constante (siempre que se haga un buen mantenimiento). En el caso de utilizar bebederos de cazoleta con chupete incorporado este debe estar instalado de forma eficiente (por debajo del nivel de llenado). En el caso de utilizar comederos-bebederos lineales, estos deben estar bien asentados y sellados para evitar fugas. En este sentido, son preferibles los comederos-bebederos de acero inoxidable por su funcionalidad (estanqueidad y facilidad de limpieza).



Figura 48. Cazoleta con pitorro.



Figura 49. Bebedero con cazoleta.



Figura 50. Tolva con chupete incorporado.

En **cerdas en lactación** se observa una mayor eficiencia en el uso del agua en los bebederos incorporados en el comedero (chupete difusor situado a 2-5 cm de la base del comedero) o en aquellos comederos con un nivel constante de agua

TABLA 62. TIPOS DE BEBEDERO Y AHORRO EN EL USO DE AGUA.

| Tipo de bebedero | Ahorro en el uso de agua |
|--|--------------------------|
| Bebedores de cazoleta a 10 cm del suelo separados del comedero | Referencia |
| Chupetes incorporados en el comedero | -51% |
| Nivel constante de agua en el comedero | -57% |



Figura 51. Chupete incorporado en el comedero y comedero con válvula de nivel.

4.3.2 Instalación, ajuste y mantenimiento de los bebederos

Adecuar los puntos de agua por animal y la densidad de los animales en el corral. Una elevada densidad (animales/m²) reduce la disponibilidad de espacios y el acceso al comedero o bebedero. El resultado es un incremento de la actividad y un incremento de las interacciones agresivas. El incremento de la actividad conlleva más deshidratación y mayores necesidades hídricas por parte de los animales.

Por otro lado, un escaso número de puntos de agua por animal incrementa la competencia, reduce la ingesta de agua e aumenta el desperdicio. De forma similar, la competencia excesiva por el pienso implica reducciones en el consumo de pienso, que se compensan con una mayor ingesta de agua para alcanzar la sensación de saciedad.

El número de animales por bebedero debe ser el recomendado por el fabricante. A nivel informativo pueden tomarse como referencia las recomendaciones del DEFRA (2003), que se presentan en la tabla 63.

TABLA 63. NÚMERO DE ANIMALES POR BEBEDERO (*PORK INDUSTRY HANDBOOK*, 2000).

| Peso (kg) | Cerdos por bebedero |
|---------------------|---------------------|
| Lechones lactantes | Camada |
| Transición, 6-20 kg | 10 |
| Engorde, 20-110 kg | 12-15 |
| Reproductores | 12-15 |

Adecuar la situación del bebedero en la zona de corral más adecuada. El bebedero siempre debe instalarse en la zona fría y sucia del corral, nunca en las zonas de descanso y protección de los cerdos. Si existe zona de *slat*, el bebedero debe instalarse en esta zona y no en la zona de suelo compacto. En el caso de que el comedero no disponga de punto de agua, el bebedero debe colocarse cerca del comedero para incentivar el consumo de pienso.

Adecuar la posición y altura del bebedero. Para evitar desperdicio de agua, la altura de acceso al bebedero (cazoleta o chupete independiente) y la inclinación deben ajustarse a la anatomía del animal según su edad y tamaño (figura 52).

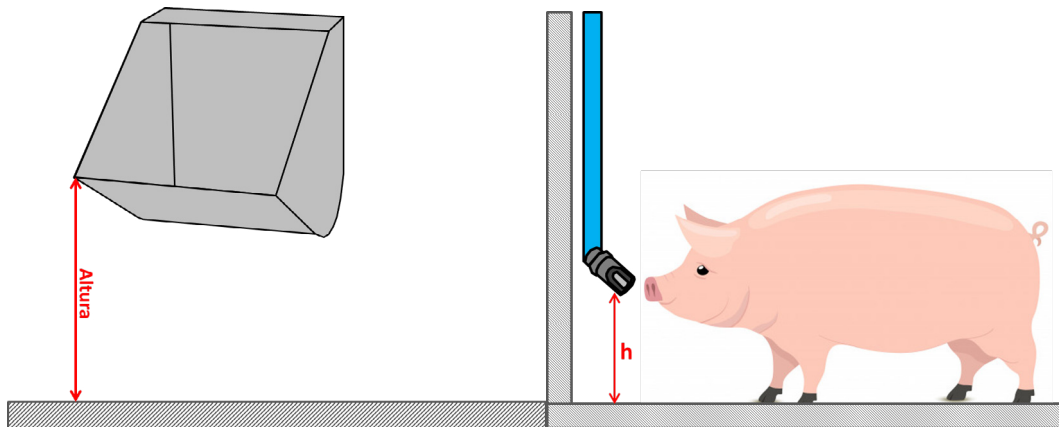


Figura 52. Altura de la cazoleta y el chupete.

En la tabla 64 pueden verse las alturas recomendadas para bebederos de cazoleta y chupete según el tipo de animal.

TABLA 64. ALTURAS RECOMENDADAS PARA BEBEDEROS DE CAZOLETA Y CHUPETE.

| Peso (kg) | Bebedero de cazoleta (cm) | Bebedero de chupete (cm) |
|---------------------|---------------------------|--------------------------|
| Lechones lactantes | 10 | 10-15 |
| Transición, 6-20 kg | 10-15 | 30-40 |
| Engorde, 20-110 kg | 15-20 | 60-70 |
| Reproductores | 15-20 | 70-90 |

Una buena opción para reducir el gasto de agua es instalar cazoletas con altura regulable (figura 53), así la altura se podrá modificar en función de la fase en que se encuentren los cerdos.

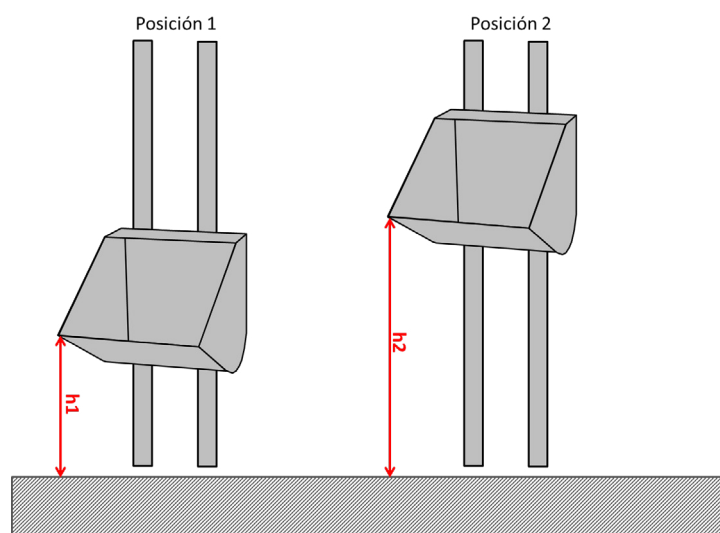


Figura 53. Bebedero con altura regulable.

Adecuar la posición y altura del difusor dentro de la cazoleta. El difusor dentro de la cazoleta debe instalarse de forma que el punto de presión esté por debajo del nivel de acceso al bebedero (o del nivel de vertido de la cazoleta), de esta forma el animal debe interrumpir la presión sobre el difusor, y, por tanto, el flujo de agua, antes de que esta se vierta de la cazoleta (figura 54).

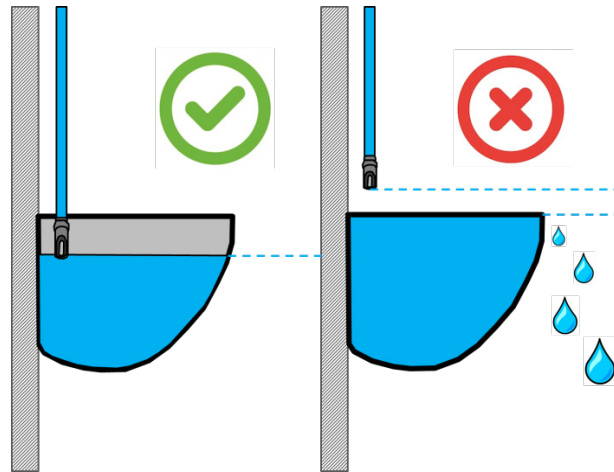


Figura 54. Posición correcta e incorrecta del difusor.

4.4 Regulación y mantenimiento del bebedero (presión y caudal)

4.4.1 Presión y caudal

El flujo de agua depende de la presión del circuito y del diámetro del orificio de salida. La presión nominal de los circuitos de agua para uso doméstico se sitúa en torno a los 3-4 kg/cm². Como se puede ver en la tabla 65, la presión recomendada para la distribución a bebederos es de 0,5 a 1 kg/cm² en transición y de cerca de 1,5 kg/cm² para cerdos de engorde. Para cerdas (gestantes o lactantes), la presión no suele ser un problema para el animal, pero si es excesiva se incrementa el desperdicio de agua.

TABLA 65. PRESIÓN RECOMENDADA PARA EL AGUA EN EL BEBEDERO.

| Presión recomendada para el agua en el bebedero | kg/cm ² |
|---|--------------------|
| Transición | 0,5- 1,0 |
| Crecimiento-cebo | 1,4-1,7 |
| Cerdas cubrición y gestación | <3 |
| Lactación | <3 |

En la tabla 66 pueden verse las recomendaciones de caudal de agua en el bebedero elaboradas con base en las propuestas de diferentes fuentes.

TABLA 66. RECOMENDACIONES EN EL CAUDAL DE AGUA EN LOS BEBEDEROS PARA PORCINO.

| Tipo de animal | Brumm (2008) | Patience (2012) | PISC Report (2012) | Inglaterra* | NFACC Canadá** (2014) | RECOMENDACIÓN (l/minuto) |
|---------------------------|--------------|-----------------|--------------------|-------------|-----------------------|--------------------------|
| Transición | 0,2-0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5-1 | 0,5-1 | 0,5-1 |
| Crecimiento-cebo | 0,5-1 | 0,75 | 1 | 1-1,5 | 0,5-1 | 0,5-1 |
| Cerdas gestantes y machos | 1 | | 1 | 2 | 0,5-1 | 1-2 |
| Cerdas lactantes | 1 | 1,5 | 2 | 2 | 1-2 | 2 |

*Inglaterra: Code of practice for the welfare of pigs (2006, Consultation draft).

**Canadá: Code of practice for the care and handling of pigs (2014).

4.5 Configuración y mantenimiento del bebedero (estado general, presión de agua y caudal)

Para garantizar la presión y el caudal de agua deseados en el punto de bebida es necesario realizar una adecuada instalación de los elementos que configuran el bebedero (figura 52). La presión y caudal final son el resultado del equilibrio entre la presión general del circuito de agua que llega al chupete, el orificio (superficie) de movimiento del agua dentro del chupete y la fuerza del muelle interno del chupete. En la práctica, una adecuada selección del orificio de la cabeza del bebedero nos permite modular la presión y el caudal de salida. Una vez realizada la instalación en la granja es necesario comprobar la presión y el caudal real en los bebederos de las posiciones más desfavorables (los últimos de la línea de distribución).

| | | | |
|--------|---|---|---|
| Pieza | Global | Cabeza y filtro | Goma |
| Imagen |  |  |  |
| Pieza | Pitorro | Muelle | Carcasa |
| Imagen |  |  |  |

Figura 55. Despiece de elementos que componen un bebedero de chupete.

Para garantizar un buen funcionamiento de los bebederos de chupete es necesario hacer un buen mantenimiento. Lo principal es la revisión de los muelles y de las gomas. Después de cada cría o del vaciado de una sala es un buen momento para hacer revisión general y sustituir aquellos elementos que no cumplan su función.

4.6 Manejo general de los animales

4.6.1 Condiciones de confort ambiental

Ajustar la temperatura ambiental a la zona de termoneutralidad. Las temperaturas de confort varían según los autores, pero podemos establecer como orientativas las recomendaciones de la última columna de la tabla 67.

TABLA 67. TEMPERATURAS AMBIENTALES RECOMENDADAS (°C) POR DIFERENTES AUTORES PARA CERDOS PRODUCIDOS EN CONDICIONES DE MANEJO NORMALES Y ADECUADAS.

| | Peso (kg) | DEFRA (2003) | Lorsch (2005) | Wihlttemore (2005) | NFACC Canadá (2014) | Recomendación |
|------------|-----------|--------------|---------------|--------------------|---------------------|---------------|
| Lechones | 2 | 25-30 | | 32 | 33-37 | 33-35 |
| | 5 | | 28-29 | 28 | | 28-30 |
| Transición | 5 | 27-32 | | | 24-30 | 25-30 |
| | 10 | 22-27 | | | | |
| | 20 | | 24-26 | 22 | | |
| Engorde | 25 | 15-21 | 23-24 | 20 | 16-27 | 18-24 |
| | 50 | 13-18 | 16-17 | 18 | | |
| | 100 | | 15-17 | 16 | | |
| Gestantes | 200 | 15-20 | 19-21 | 18 | 10-27 | 15-20 |
| Lactantes | 200 | | 18-20 | 16 | 13-27 | 20-22 |

4.6.2 Condiciones de alimentación

Suministrar preferentemente piensos granulados. Los piensos en harina producen mayor consumo de agua que los piensos granulados. Los sistemas de alimentación líquida también incrementan el uso de agua en relación con las dietas secas o seco-húmedas.

Reducir la cantidad de proteína en el pienso. El consumo de agua de los animales se reduce un 2-3% por cada unidad porcentual de proteína bruta que se disminuye en el pienso. En la tabla 68 puede verse la propuesta de ECOGAN 2019 en relación con la minimización del nivel de proteína en la dieta.

TABLA 68. CONDICIONES DE DIETA BAJA EN PROTEÍNA PARA APLICAR UNA REDUCCIÓN DEL 10% EN EL CONSUMO DE AGUA DE BEBIDA POR CATEGORÍA DE PORCINO (ECOGAN 2019).

| Categoría | % proteína bruta |
|--------------------------------|------------------|
| Cerdas de reposición/nulíparas | ≤12 |
| Cerdas gestantes | ≤12 |
| Cerdas lactantes | ≤14 |
| Lechones destetados | ≤18 |
| Cebo | ≤14 |

Adequar la cantidad de sal y potasio en el pienso. El uso excesivo de sales minerales en el pienso puede aumentar la ingesta de agua en un 11% y la excreta de orina en un 5%.

Evitar restricciones innecesarias en el consumo de pienso. La restricción de pienso aumenta el consumo de agua para tener la sensación de llenado abdominal. En alimentación restringida se consume menos agua cuando se administra el pienso en dos o más tomas al día. Las restricciones de pienso también pueden ser debidas a deficiencias en los dispositivos de administración (tolvas, comederos...) o al almacenamiento incorrecto del pienso (silos). Es importante revisar de forma periódica y hacer las reparaciones necesarias de todos los dispositivos que contienen el alimento, y vigilar su correcto funcionamiento mediante controles visuales diarios.

4.7 Calidad del agua de bebida

El primer aspecto que queremos resaltar como **criterio de confort y calidad** es la temperatura del agua de bebida. Así, la temperatura del agua en condiciones óptimas debe situarse entre los 15 y los 25 °C.

Los **criterios físico-químicos** comúnmente más empleados para referirse a la calidad del agua se encuentran resumidos en la tabla 69. En esta misma tabla también se presentan los valores mínimo y máximo recomendados. En la tabla 70 se presentan los parámetros microbiológicos que considerar para el agua de consumo (FEDNA, 2013).

TABLA 69. CRITERIOS FÍSICO-QUÍMICOS PARA REFERIRSE A LA CALIDAD DEL AGUA.

| | Alemania (2000) | Canadá (2004) | España (2003) | Australia (2018) | EPA-EE. UU. (2019) | Valor mínimo | Valor máximo |
|--|--------------------|------------------|------------------|---------------------|--------------------------|-----------------|-----------------|
| | ppm | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l |
| Sólidos disueltos (TDS) | | 3.000 | | | 500 | | |
| pH (unidad de pH) | 5-8 | 6,5-8,5 | 6,5-9,5 | 6,5-8,5 | 6,5-8,5 | 6,5 | 9,5 |
| Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$) | | | 2.500 | | | | 2.500 |
| Amonio (NH_4) | 1 | | 0,5 | | | | 0,5 |
| Nitratos (NO_3) | 25 | 90 | 50 | 50 | 10 | 50 | 100 |
| Nitritos (NO_2) | 0,1 | 10 | 0,1 | 3 | 1 | 0,1 | 0,5 |
| Cloruros | 250 | | 250 | 250 | 250 | | 250 |
| Sodio | 1 | | 200 | 180 | | | |
| Hierro | | | 200 | | | | 200 |
| Manganeso | 1 | | 50 | | | | 50 |
| Sulfato | 100 | 1.000 | 250 | 250 | 250 | | 250 |
| Calcio | | 1.000 | 200 | | | | 200 |
| Aluminio | | 5 | | 0,2 | 0,02 | | |
| Arsénico | | 0,5 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | | 0,01 |
| Berilio | | 0,1 | | 0,06 | 0,004 | | 0,06 |
| Boro | | 5 | 1 | 4 | | | |
| Cadmio | | 0,02 | 0,005 | 0,002 | 0,005 | | 0,005 |
| Cromo | | 1 | 0,05 | 0,05 | 0,1 | | 0,05 |
| Cobalto | | 1 | | | | | |
| Cobre | | 5 | 2 | 2 | 1 | | 2 |
| Flúor | | 2 | 1,5 | 1,5 | 4 | | 1,5 |
| Plomo | | 0,1 | 0,01 | 0,01 | 0,015 | | 0,01 |
| Mercurio | | 0,003 | 0,001 | 0,001 | 0,002 | | 0,001 |
| Molibdeno | | 0,5 | | | | | |
| Níquel | | 1 | 0,02 | 0,02 | 0,05 | | 0,02 |
| Selenio | | 0,05 | 0,01 | 0,01 | | | 0,01 |
| Uranio | | 0,01 | | 0,017 | 0,03 | | 0,01 |
| Zinc | | 50 | | 3 | 5 | | 5 |

TABLA 70. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS QUE CONSIDERAR PARA EL AGUA DE CONSUMO (FEDNA, 2013).

| Parámetros obligatorios para agua de consumo humano | |
|--|--------------------|
| <i>Escherichia coli</i> | Ausencia en 100 ml |
| <i>Enterococos</i> | Ausencia en 100 ml |
| <i>Clostridium perfringens</i> | Ausencia en 100 ml |
| Parámetros indicadores para agua de consumo humano | |
| Coliformes totales (37 °C-24 h) | Ausencia en 100 ml |
| Aerobios totales (22 °C-72 h) | 100 UFC/ml |
| Otros parámetros de control | |
| Aerobios totales | 20 UFC/ml |
| Bacterias anaerobias sulfito-reductoras (37 °C-48 h) | Ausencia en 20 ml |
| Salmonela | Ausencia en 100 ml |
| Estreptococos fecales (37 °C-48 h) | Ausencia en 100 ml |

5. Agua de limpieza

Tener un adecuado protocolo de limpieza:

- Retirar los restos de comida antes de empezar a limpiar.
- Retirar todos los restos sólidos antes de empezar a limpiar.
- Utilizar equipos de alta presión (100-150 kg/cm²) para la limpieza de los alojamientos y equipos.
- Limpiar siempre los alojamientos al final de cada período de producción.
- Remojar todos los elementos (paredes, suelos, comederos...) de forma previa a la limpieza.
- Establecer un orden de limpieza para evitar tener que limpiar dos veces la misma superficie.

Utilización eficiente de los equipos de limpieza

Existe una amplia variedad de equipos de limpieza para las granjas, que combinan presión de salida y caudal. Los equipos de alta presión pueden reducir hasta un 30% el uso de agua y esta reducción aumenta al 50% si la presión se combina con agua caliente (p. ej., 150 kg/cm² bares a 40 °C).

BIBLIOGRAFÍA

- Aarnink, A. J. A. y Verstegen, M. W. A. (2007). Nutrition, key factor to reduce environmental load from pig production. *Livestock Science*, 109, 194-203. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2007.01.112>.
- AGDEX 440/68-1. *Water for swine. Agriculture, food and rural development*. Government of Alberta.
- Albar, J. y Granier, R. (1999). Intérêt du nourrisoupe pour le porc à l'engrais selon le mode de présentation des aliments (granulés ou farine). *Journées Rech. Porcine en France*, 31, 223-229. Recuperado de <https://www.ifip.asso.fr/sites/default/files/pdf-documentations/jrp1999a05albar.pdf>.
- Aldaya, M. M.; Cabrera, E.; Custodio, E.; De Stefano, L.; Garrido, A.; López-Gunn, E. ... y Willaarts, B. A. (2012). *El agua en España: Bases para un pacto de futuro*. (M. M. Aldaya y M. R. Llamas, eds.). Recuperado de <https://www.fundacionbotin.org/observatorio-contenidos/monografias.html>.
- Almazán-Gómez, M. Á.; Sánchez-Chóliz, J. y Sarasa, C. (2018). Environmental flow management: An analysis applied to the Ebro River Basin. *Journal of Cleaner Production*, 182, 838-851. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.207>
- Almond, G. (2002). Water: Optimizing Performance. Recuperado de https://projects.ncsu.edu/project/swine_extension/ncporkconf/2002/almond.htm
- Álvarez-Rodríguez, J. y Babot, D. (2017). Factores de variación del consumo de agua y producción de purín en cerdos de engorde. Recuperado de [http://porcino.info/download/factores-de-variacion-consumo-agua\(2\).pdf](http://porcino.info/download/factores-de-variacion-consumo-agua(2).pdf)
- Álvarez-Rodríguez, J.; Hermida, B.; Parera, J.; Morazán, H.; Balcells, J. y Babot, D. (2013). The influence of drinker device on water use and fertiliser value of slurry from growing-finishing pigs. *Animal Production Science*, 53(4), 328-334. Recuperado de <https://doi.org/10.1071/AN12136>
- Andersen, H. M. L.; Dybkjær, L. y Herskin, M. S. (2014). Growing pigs' drinking behaviour: Number of visits, duration, water intake and diurnal variation. *Animal*, 8(11), 1881-1888. Recuperado de <https://doi.org/10.1017/S175173111400192X>
- Andersen, Heidi Mai Lis y Pedersen, L. J. (2014). Drinking behaviour in sows kept outdoors during the winter months. *Applied Animal Behaviour Science*, 161(1), 34-41. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2014.09.018>
- Ange, K. D.; Eisemann, J. H.; Argenzio, R. A.; Almond, G. W. y Blikslager, A. T. (2000). Effects of feed physical form and buffering solutes on water disappearance and proximal stomach pH in swine. *Journal of Animal Science*, 78, 2344-2352.
- ARC (Agricultural Research Council) (1981). *The nutrient requirements of pigs*. Farnham Royal, Slough: Commonwealth agricultural bureaux.
- Aurélien, D.; Salmoral, G. y Llamas, M. R. (2012). The extended water footprint of the Guadalquivir basin. En CRC Press (ed.). *Water, Agriculture and the Environment in Spain: can we square the circle?* (pp. 105-114). Recuperado de www.mdpi.com/journal/sustainability

- Babot, D.; Pantrigo, M.; Sancho, V.; Dolz, N.; Parera, J. y Álvarez-Rodríguez, J. (2015). Gestión del agua en la explotación porcina. *Simposi Internacional Reptes i Oportunitats en Fertilització i Gestió de les Dejeccions Ramaderes*.
- Babot Gaspa, D. (2004). *Tècniques de gestió mediambiental en producció porcina*. Recuperado de http://cataleg.udl.cat/record=b1182757~S11*cat
- Babot, D.; Dolz, N. y Sancho, V. (2017). *Efecto de la altura del bebedero y la presión del agua en la ingesta y desperdicio de la misma en cerdos en crecimiento y cebo*. Informe interno UdL. Lleida.
- Barnes, D. J.; Snedegar, J. A. y Rozeboom, D. (2000). Comparison of farmweld® model CF42SAS0TM and crystal spring model WF3050 early-wean feeders. *MSU Pork Quarterly*, 14(4), 8.
- BD_Porc (2019). Bdporc.irta.es. Disponible: <http://www.bdporc.irta.es/index.jsp> (acceso: noviembre de 2020).
- Bergstrom, J. R.; Nelssen, J. L.; Tokach, M. D.; Dritz, S. S.; Goodband, R. D. y Derouchey, J. M. (2012). Effects of two feeder designs and adjustment strategies on the growth performance and carcass characteristics of growing–finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 90(12), 4555-4566. Recuperado de <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4485>.
- Bigelow, J. A. y Houpt, T. R. (1988). Feeding and drinking patterns in young pigs. *Physiology and Behavior*, 43(1), 99-109. Recuperado de [https://doi.org/10.1016/0031-9384\(88\)90104-7](https://doi.org/10.1016/0031-9384(88)90104-7).
- Bøe, K. E. y Kjelvik, O. (2011). Water nipples or water bowls for weaned piglets: Effect on water intake, performance, and plasma osmolality. *Acta Agriculturae Scandinavica A: Animal Sciences*, 61(2), 86-91. Recuperado de <https://doi.org/10.1080/09064702.2011.599859>.
- Boles, E. (2013). *A cradle to farm gate life cycle analysis of water use in U.S. pork production*. University of Arkansas. Recuperado de <https://scholarworks.uark.edu/etd/1014>.
- B. P.; Brooks, P. H. y Carpenter, J. L. (1987). Voluntary water use by growing pigs offered a liquid feed of differing water to meal ratios. *Pig Housing and the environment*, 11 (A. T. Smith y T. L. J. Lawrence, eds.). Edinburgh: British Society of Animal Production.
- Braude, R.; Clarke, P. M.; Mitchell, K. G.; Cray, A. S.; Cray, A.; Sedgwick, H. et al. (1957). Unrestricted whey for fattening pigs. *Journal of Agricultural Science*, 49, 347-356.
- Brooks, P.; Beal, J. y Niven, S. (2001). Liquid feeding of pigs: potential for reducing environmental impact and for improving productivity and food safety. *Recent advances in animal nutrition in Australia*, 13(January), 49-63.
- Brooks, P. H. y Carpenter, J. L. (1990). The water requirement of growing-finishing pigs. Theoretical and practical considerations. *Recent Advances in Animal Nutrition* (pp. 115-136). London, UK: Butterworth-Heinemann. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/b978-0-408-04150-8.50002-5>
- Brooks, P. H.; Geary, T. M.; Morgan, D. T. y Campbell, A. (1996). New developments in liquid feeding. *Pig Journal*, 36, pp. 43-64.
- Brooks, P. H.; Russell, S. J. y Carpenter, J. L. (1984). Water intake of weaned piglets from three to seven weeks old. *The Veterinary Record*, 513-515. Recuperado de <https://doi.org/10.1136/vr.115.20.513>
- Brumm, M. C. (1998). Impact of Feeder and drinker selection on manure system design. *Manure Matters*, 4(6), 4. Recuperado de <https://p2infohouse.org/ref/16/15516.htm>.
- Brumm, M. C. (2002). *Impact of feeder and drinker considerations on grow-finish pig performance and water use*. Disponible en: http://soyasa.org/documents/0/Brumm_P_China_Feeder_Sept02.htm (acceso: febrero 2004).

- Brumm, M. C. y Heemstra, J. (1999). Impact of drinker type on pig performance, water use and manure production. *Nebraska Swine Report*, 49-50. Recuperado de https://digitalcommons.unl.edu/coopect_swine.
- Brumm, M. C. y Heemstra, J. M. (1998). Effect of drinker design on growing-finishing pig performance and water use. Midwestern section ASAS and Midwest Branch ADSA meeting. *Environment & Livestock Production*, Abstr. 30. Disponible en: <http://www.asas.org/abstracts/98mtgabs/mw98environ.html> (acceso: febrero 2004).
- Brumm, M.; Dahlquist, J. y Heemstra, J. (2000). Impact of feeders and drinker devices on pig performance, water use, and manure volume. *Swine Health and Production*, 8(2), 51-57.
- Brumm, Mike y Brumm Swine Consultancy. (2008). Water Recommendations and Systems for Swine. *National Swine Nutrition Guide Water*, 7. Recuperado de <https://doi.org/10.5005/jp/books/10561>
- Carr, J. (2004). *Estándares de la producción porcina*. Asís Veterinaria, S.L.
- Chico, D. y Garrido, A. (2012). Overview of the extended water footprint in Spain: The importance of agricultural water consumption in the spanish economy. En M. R. L. Lucia De Stefano (ed.), *Water, Agriculture and the Environment in Spain: Can We Square the Circle?* (pp. 75-85). London, UK: Fundación Botín. Recuperado de <https://www.fundacionbotin.org/observatorio-contenidos/water-agriculture-and-the-environment-in-spain-can-we-square-the-circle.html>.
- Courboulay V. (2015). Loger les truies gestantes en groupe: les clés pour choisir son système et sa conduite. *Atelier sur les truies en groupe, Centre de Développement du Porc du Québec*, 25-26 de febrero de 2015, Quebec, Canadá.
- De Miguel, Á.; Hoekstra, A. Y. y García-Calvo, E. (2015). Sustainability of the water footprint of the Spanish pork industry. *Ecological Indicators*, 57, 465-474. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.05.023>.
- De Miguel, Á.; Kallache, M. y García-Calvo, E. (2015). The water footprint of agriculture in Duero river basin. *Sustainability (Switzerland)*, 7, 6759-6780. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/su7066759>.
- DEFRA. Departament for Environment Food and Rural. (2003). *Code of Recommendations for the Welfare of Livestock: Pigs*. London.
- DEFRA. Departament for Environment Food and Rural. (2006). *Consultation Draft. Code of Practice for the Welfare of Pigs*. London.
- Dourmad, J. Y.; Ryschawy, J.; Trousson, T.; Bonneau, M.; González, J.; Houwers, H. W. J. ... y Morgensen, L. (2014). Evaluating environmental impacts of contrasting pig farming systems with life cycle assessment. *Animal*, 8(12), 2027-2037. Recuperado de <https://doi.org/10.1017/S1751731114002134>.
- Fao.org. (2020). FAOSTAT. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC> (acceso: noviembre de 2019).
- Dolz, N.; Sancho, V.; Parera, J.; Álvarez-Rodríguez, J., Forcada, F. y Babot, D. (2016). Uso eficiente del agua en instalaciones porcinas. *Congreso ANAVEPOR*. Córdoba.
- Dourmad, Jean Yves y Jondreville, C. (2007). Impact of nutrition on nitrogen, phosphorus, Cu and Zn in pig manure, and on emissions of ammonia and odours. *Livestock Science*, 112, 192-198. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2007.09.002>.
- FEDNA. (2013). Necesidades nutricionales para ganado porcino. *Fenda*, 2, 55. Recuperado de http://www.vet.unicen.edu.ar/ActividadesCurriculares/AlimentosAlimentacion/images/Normas_PORCINO_2013rev2.pdf
http://www.fundacionfedna.org/sites/default/files/Normas_PORCINO_2013rev2.pdf.

- Fleming, R.; Hocking, D; Macalpine, M. y Johnston, J. (1999). *Investigation of manure production in typical 3-site hog facilities*. Project 97/03. Final report to Ontario pork.
- Forcada, F.; Babot, D.; Vidal, A. y Buxade, C. (2009). *Diseño de alojamientos e instalaciones*. Servet.
- Fraser, D.; Patience, J. F.; Phillips, P. A. y Mcleese, J. M. (1993). Water for piglets and lactating sows : quantity, quality and quandaries. En *Recent Developments in Pig Nutrition 2*. England: Ed. Nottingham University Press.
- Fremaut, D. y Schrijver, R. de (1991). The effects of age and amount of dietary protein on DM and nitrogen contents of excreta of growing pigs. *Rev. Agric.*, 44, 963-971.
- Froese, C. y Small, D. (2001). Water consumption and waste production during different production stages in hog operations. DGH Engineering Ltd. Presented to: Manitoba Livestock Manure Management Initiative Inc.
- Fuentes, J. L. (1992). *Construcciones para la agricultura y la ganadería* (6.ª ed.). Madrid: Mundi-Prensa.
- Gadd, J. (1988). Mix at trough feeding, a quiet revolution. *Pigs*, 26.
- Garrido, A.; Llamas, M. R.; Varela-Ortega, C.; Novo, P.; Rodríguez-Casado, R. y Aldaya, M. M. (2010). *Water Footprint and virtual water trade in Spain: policy implications*. New York: Springer. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4419-5741-2>
- Gerbens-Leenes, P. W.; Mekonnen, M. M. y Hoekstra, A. Y. (2013). The water footprint of poultry, pork and beef: A comparative study in different countries and production systems. *Water Resources and Industry*, 1-2, 25-36. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.wri.2013.03.001>.
- Gill, Bhupinder; Brooks, Peter y Carpenter, J. L. (1987). Voluntary water use by growing pigs offered liquid foods of differing water-to-meal ratios. Recuperado de <https://doi.org/10.1017/S0263967X00001889>.
- Gonyou, H. W. y Lou, Z. (2002). Effects of eating space and availability of water in feeders on productivity and eating behavior of grower/finisher pigs. *Journal of Animal Science*, 78, 865-870.
- Guillemet, R.; Dourmad, J. Y. y Meunier-Salaün, M. C. (2006). Feeding behavior in primiparous lactating sows: Impact of a high-fiber diet during pregnancy. *Journal of Animal Science*, 84(9), 2474-2481. Recuperado de <https://doi.org/10.2527/jas.2006-024>.
- Harmon, J. (1998). Water usage in finishing facilities: wet/dry feeders versus dry feeders with nipple waterers. Management/economics. *Iowa State University Swine Research Report*, 1998. Disponible en: <http://www.extension.iastate.edu/Pages/ansci/swinereports/Mgmtecon98.html>. (acceso: febrero 2004).
- Hoekstra, A. Y.; Chapagain, A. K.; Aldaya, M. M. y Mekonnen, M. M. (2011). The Water Footprint Assessment Manual. Setting the Global Standard. *Social and Environmental Accountability Journal*, 31. Recuperado de <https://doi.org/10.1080/0969160x.2011.593864>
- Holmes, C. W. y Mount, L. E. (1967). Heat loss from groups of growing pigs under various conditions of environmental temperature and air movement. *Journal of Animal Production*, 9, 435-452.
- Hurst, D.; Clarke, L. y Lean, I. (2008). Effect of liquid feeding at different water-to-feed ratios on the growth performance of growing-finishing pigs. *Animal*, 2(9), 1297-1302.
- Huynh, T. T. T.; Aarnink, A. J. A.; Verstegen, M. W. A.; Gerrits, W. J. J.; Heetkamp, M. J. W.; Kemp, B. y Cahn, T. T. (2005). Effects of increasing temperatures on physiological changes in pigs at different relative humidities. *Journal of Animal Science*, 83, 1385-1396.
- Jensen, B. B. y Mikkelsen, L. L- (1998). Feeding liquid diets to pigs. En P. C. Garnsworthy, y J. Wiseman (eds.), *Recent Advances in Animal Nutrition* (pp. 107-126). Loughborough: Nottingham University Press.

- Jeon, J. H. (2006). Effects of Chilled Drinking Water on the Performance of Lactating Sows and Their Litters during High Ambient Temperatures under Farm Conditions. *Livestock Science*, 105(1–3), 86-93.
- Jin, Y.; Predicala, B. y Navia-Richards, E. (2011). *Evaluation of water usage and water conservation strategies in the swine industry*. The Canadian Society for Bioengineering.
- Junge, M.; Herd, D.; Jezierny, D.; Gallmann, E. y Jungbluth, T. (2012). Indicators for monitoring behavior and health of group housed pregnant sows. *Landtechnik*, 67, 326-331.
- Kim, J. H.; Heo, K. N.; Odle, J.; Han, I. K. y Harrell, R. J. (2001). Liquid diets accelerate the growth of early-weaned pigs and the effects are maintained to market weight. *Journal of Animal Science*, 79, 427-434.
- Klopfenstein, C.; Bigras-Poulin, M. y Martineau, G. P. (1996). La truie potomane, une réalité physiologique. *Journées Recherche Porcine*, 28, 319-324.
- Klopfenstein, C.; D'Allaire, S. y Martineau, G. P. (1995). Effect of adaptation to the farrowing crate on water intake of sows. *Livestock Production Science*, 43, 243-252.
- Kruse, S. et al. (2011). Relationship between Feed, Water Intake, and Body Weight in Gestating Sows. *Livestock Science*, 137(1–3), 37-41.
- Laitat, M.; Vandenheede, M.; Désiron, A.; Canart, B. y Nicks, B. (1999). Comparison of feeding behaviour and performance of weaned pigs given food in two types of dry feeders with integrated drinkers. *Animal Science*, pp. 35-42.
- Laitat, M.; Vandenheede, M.; Désiron, A.; Canart, B. y Nicks, B. (1999). Comparison of performance, water intake and feeding behaviour of weaned pigs given either pellets or meal. *Animal Science*, pp. 491-499.
- Laitat, M.; Vandenheede, M.; Desiron, A.; Canart, B. y Nicks, B. (2000). Granulés ou farine en post-sevrage: le choix des porcelets. *Journées de la Recherche Porcine en France*, 32, 157-162.
- Landero, J.; Beaulieu, A. D. y Young, M. The Effects of Water Availability and Space Allowance on Productivity and Profitability. *Prairie swine centre annual research report 2013-14*.
- Latimier, P.; Gallard, F. y Corlouër, A. (1996). Actualisation des volumes et des quantités d'azote, de phosphore et de potasse rejetés dans le lisier par un élevage naisseur-engraisseur. *Journées de la Recherche Porcine en France*, 28, 241-248.
- Lawlor, P. G. y O'meara-Teagas C., F. (2018). *Comparison of Dry, Wet/Dry and Wet feeding for Finisher pigs*. The Agriculture and Food Development Authority.
- Lawlor, P. G.; Lynch, P. B.; Gardiner, G. E.; Caffrey, P. J. y O'Doherty, J. V. (2002). Effect of liquid feeding weaned pigs on growth performance to harvest. *Journal of Animal Science*, 80, 1725-1735.
- Leibbrandt, V. D.; Johnston, L. J.; Shurson, G. C.; Crenshaw, J. D.; Libal, G. W. y Arthur, R. D. (2001). Effect of nipple drinker water flow rate and season on performance of lactating swine. *Journal of Animal Science*, 79, 2770-2775.
- Li, Yuzhi y Gonyou, H. (2002). *Reducing water waste from nipple drinkers by growing-finishing pigs*.
- Li, Y. Z.; Chénard, L.; Lemay, S. P. y Gonyou, H. W. (2005) Water intake and wastage at nipple drinkers by growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 83(6), 1413-1422. Recuperado de <https://doi.org/10.2527/2005.8361413x>.
- Madsen, T. N. y Kristensen, A. R. (2005). A model for monitoring the condition of young pigs by their drinking behaviour. *Computers and Electronics in Agriculture*, 48, 138-154.

- Magowan, E.; Mccann, M. E. E. y O'Connell, N. E. The effect of feeder type and change of feeder type on growing and finishing pig performance and behaviour. *Animal Feed Science and Technology*, 142(1-2), 133-143. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.06.035>.
- MAPA (2018). *Balance del nitrógeno en la agricultura espanyola. Año 2016*. Madrid: Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Recuperado de https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/medios-de-produccion/bn2016_metodologia-resultados_tcm30-507806.pdf.
- MAPA. (2020). Indicadores trimestrales de porcino. Madrid: Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Recuperado de https://www.mapa.gob.es/va/ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/dashboard4totrim2019_tcm39-428246.pdf.
- MAPAMA. (2019). *El sector de la carne de cerdo en cifras*. Madrid: Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Subdirección General de Productos Ganaderos Recuperado de <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- MARM. (2009). *El medio ambiente y el medio rural y marino en España 2009*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Secretaría General Técnica Centro de Publicaciones. Disponible en: www.marm.es.
- MARM. (2011). *Huella hídrica de España. Sostenibilidad y territorio*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Recuperado de https://www.chj.es/Descargas/ProyectosOPH/Consulta_publica/PHC-2015-2021/ReferenciasBibliograficas/UsosdelAgua/MARM,2011c.Huella_hidrica_de_Espana%5B1%5D.pdf.
- Maselyne, J.; Adriaens, I.; Huybrechts, T.; De Ketelaere, B.; Millet, S.; Vangeyte, J. y Saeys, W. (2016). Measuring the drinking behaviour of individual pigs housed in group using radio frequency identification (RFID). *Animal*, 10(9), 1557-1566.
- Massabie, P.; Roy, H.; Boulestreau-Boulay A. L. y Dubois A. (2014). La consommation d'eau en élevage de porcs. Des leviers pour réduire la consommation d'eau en élevage de porcs. *Report from the French Pork and Pig Institute (IFIP)*, 16. Disponible en: www.ifip.asso.fr (acceso: 15 de junio de 2016).
- Masse, D. I.; Croteau, F.; Masse, L.; Bergeron, R.; Bolduc, J. L.; Ramonet, Y.; Meunier-Salaün, M. C. y Robert, S. (2003). Effect of dietary fiber incorporation on the characteristics of pregnant sows slurry. *Canadian Biosystems Engineering*, 45.
- Matlock, M.; Thoma, G.; Boles, E.; Leh, M.; Sandefur, H.; Bautista, R. y Ulrich, R. (2014). *A life cycle analysis of water use in U.S. pork production*. University of Arkansas. Recuperado de <https://www.pork.org/wp-content/uploads/2014/07/11-133-MATLOCK-UofArk.pdf>.
- McAuliffe, G. A.; Chapman, D. V. y Sage, C. L. (2016). A thematic review of life cycle assessment (LCA) applied to pig production. *Environmental Impact Assessment Review*, 56, 12-22. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2015.08.008>.
- McDonald, L. M.; Crane, J.; Stewart, A. H.; Edwards, S. A. y English, P.R. (1996). The effect of drinking trough space on the performance and behaviour of growing pigs in large groups on deep-bedded straw. *Animal Science*, 62, 677-678.
- McKeon, M. (1999). Controlling manure volume. *National pig farmer's conference proceedings*. Recuperado de <http://www.teagasc.ie/publications/pig1999/paper09.htm>.
- McKerracher, D. (2005). *Increasing Drinking water use efficiency in a commercial alberta pork production facility*.

- Meiszberg, A. M.; Johnson, A. K.; Sadler, L. J.; Carroll, J. A.; Dailey, J. W. y Krebs, N. (2009). Drinking behavior in nursery pigs: determining the accuracy between an automatic water meter versus human observers. *Journal of Animal Science*, 87(12), 4173-4180.
- Mekonnen, M. M. y Hoekstra, A. Y. (2010). *The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products*. Delft, The Netherlands: UNESCO-IHE Institute for Water Education. Recuperado de <http://www.waterfootprintnetwork.org/Reports/Report47-WaterFootprintCrops-Vol1.pdf> <http://wfn.project-platforms.com/Reports/Report-48-WaterFootprint-AnimalProducts-Vol1.pdf>.
- Mekonnen, M. M. y Hoekstra, A. Y. (2011). *The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products* (vol. 2). Delft, The Netherlands: UNESCO-IHE Institute for Water Education. Recuperado de <http://www.waterfootprintnetwork.org/Reports/Report47-WaterFootprintCrops-Vol1.pdf> <http://wfn.project-platforms.com/Reports/Report-48-WaterFootprint-AnimalProducts-Vol1.pdf>.
- Mekonnen, M. M. y Hoekstra, A. Y. (2012). A Global Assessment of the Water Footprint of Farm Animal Products. *Ecosystems*, 15(3), 401-415. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s10021-011-9517-8>
- Meunier-Salaün, M. C.; Edwards, S. y Robert, S. (2001). Effect of fibre on the behaviour and health of the restricted fed sow. *Animal Feed Science and Technology*, 90, 53-69.
- Meunier-Salaün, M. C. et al. (2016). Review: Drinking Water for Liquid-Fed Pigs. *Animal*, 11(5), 836-844.
- Miglietta, P. P.; De Leo, F.; Ruberti, M. y Massari, S. (2015). Mealworms for food: A water footprint perspective. *Water (Switzerland)*, 7, 6190-6203. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/w7116190>
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (2008). *Libro Digital del Agua*. Recuperado de <https://servicio.mapama.gob.es/sia/visualizacion/lda/> (acceso: 4 de marzo de 2020).
- Miyawaki, K.; Itoh, S. y Hoshina, K. (1994). Water requirement and water-saving effect in finishing pigs fed with wet/dry feeders. *Japan. J. Swine Sci.*, 31, 35-42.
- Mount, L.; Holmes, C.; Close, W.; Morrison, S. y Start, I. (1971). A note on the consumption of water by the growing pig at several environmental temperatures and levels of feeding. *Animal Science*, 13(3), 561-563. Recuperado de [doi:10.1017/S000335610001076X](https://doi.org/10.1017/S000335610001076X).
- Mroz, Z.; Jongbloed, A.; Lenis, N. y Vreman, K. (1995). Water in pig nutrition: physiology, allowances and environmental implications. *Nutrition Research Reviews*, 8(1), 137-164. Recuperado de [doi:10.1079/NRR19950010](https://doi.org/10.1079/NRR19950010).
- Muhlbauer, R. V.; Moody, L. B.; Burns, R. T.; Harmon, J. y Stalder, K. (2011). *Water Consumption and Conservation Techniques Currently Available for Swine Production*. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11299/140901>.
- Nakamura, K. y Itsubo, N. (2019). Carbon and water footprints of pig feed in France: Environmental contributions of pig feed with industrial amino acid supplements. *Water Resources and Industry*, 21(January), 100-108. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.wri.2019.100108>.
- Nannoni, E.; Martelli, G.; Cecchini, M.; Vignola, G.; Giammarco, M.; Zaghini, G. y Sardi, L. (2013). Water requirements of liquid-fed heavy pigs: effect of water restriction on growth traits, animal welfare and meat and ham quality. *Livestock Science*, 151, 21-28.
- NFACC (2014). *National Farm Animal Care Council Code of Practice*.
- Nienaber, J. A. y Hahn, G. L. (1984) Effects of water flow restriction and environmental factors on performance of nursery-age pigs. *J. Anim. Sci.*, 59, 1423-1429.
- Nienaber, J. A. y Hahn, G. L. (1984). Effects of water flow restriction and environmental factors on performance of nursery-age pigs. *Journal of Animal Science*, 59, 1423-1429.

- Nitikanchana, S.; Tokach, M.; Derouchey, J. W.; Goodband, R. D.; Nelssen, J. L. y Dritz, S. (2012). Effects of feeder design (conventional dry vs. wet-dry) on growth performance of 45- to 246-lb pigs. *Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports*, 376-380.
- Noya, I.; Aldea, X.; Gasol, C. M.; González-García, S.; Amores, M. J.; Colón, J. ... y Boschmonart-Rives, J. (2016). Carbon and water footprint of pork supply chain in Catalonia: From feed to final products. *Journal of Environmental Management*, 171, 133-143. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.01.039>.
- Novoa *et al.* (2016). Variabilidad de la huella hídrica del cultivo de cereales, río Cachapoal, Chile. *Tecnología y Ciencias del Agua*, VII(2).
- NRC (National Research Council) (1998). *Nutrient Requirements of Swine*. Washington, DC: National Academy Press.
- O'Connell-Motherway, S.; Lynch, P. B.; Carton, O. T. y O'Toole, P. (1998). Aspects of Slurry management on pig farms. Disponible en: <http://www.teagasc.ie/research/reports/environment/4336/eopr-4336.htm>.
- O_Porcí (2018). *Informe anual del sector porcí 2018*. Departament d'Agricultura Ramaderia Pesca i Alimentació. Grup de Gestió Porcina.
- O_Porcí. (2019). *Informe anual del sector porcí 2019*. Departament d'Agricultura Ramaderia Pesca i Alimentació. Grup de Gestió Porcina.
- Parera, J. (2016). Caracterización de los bebederos porcinos en el laboratorio. *Suis*, 128.
- Partridge, G. G.; Fisher, J.; Gregory, H. y Prior, S. G. (1992). Automated wet feeding of weaner pigs versus conventional dry diet feeding: effects on growth rate and food consumption. *Animal Production*, 54, 484.
- Paschma, J. (2002). Effect of environmental factors on water intake and fattening performance of growing pigs. *Ann. Anim. Sci.*, 2(Suppl. 1), 163-166.
- Patience, J.; Possberg, N. y Gillis, D. (1997). Effect of well water high in sulphate and iron on weanling pigs: blood and tissue analysis. En Prairie Swine Centre Inc., *Annual research report* (pp. 30-32).
- Patience, J.; Possberg, N. y Gillis, D. (2003). Water quality and weanling pig performance. Disponible en: <http://adminsrv.usask.ca/psci/WhatsNew/June03/WaterQuality.html> Consultado: (acceso: 18 de septiembre de 2003).
- Phillips, P. A. y Fraser, D. (1990). Water bowl size for newborn pigs. *Applied Engineering in Agriculture*, 6, 79-81.
- Phillips, P. A. y Fraser, D. (1991). Discovery of selected water dispensers by newborn pigs. *Canadian Journal Animal Science*, 71, 233-236.
- Phillips, P. A.; Fraser, D. y Thompson, B. K. (1990). The influence of water nipple flow rate and position and room temperature on sow water intake and spillage. *Applied Engineering in Agriculture*, 6, 75-78.
- Pijpers, A.; Schoevers, E. J.; Van Gogh, H.; Van Leengoed, L. A.; Visser, I. J.; Van Miert, A. S. y Verheijden, J. H. (1991). The influence of disease on feed and water consumption and on pharmacokinetics of orally administered oxytetracycline in pigs. *Journal of Animal Science*, 69, 2947-2954.
- Pluske, J. R. y Williams, I. H. (1996). The influence of feeder type and the method of group allocation at weaning on voluntary food intake and growth in piglets. *Animal Science*.

- Predicala, B.; Alvarado, A. y Jin, Y. (2013). Alternatives for animal drinking and barn cleaning to reduce water use in swine production operations. *American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting*.
- Reckmann, K.; Traulsen, I. y Krieter, J. (2013). Life Cycle Assessment of pork production: A data inventory for the case of Germany. *Livestock Science*, 157(2-3), 586-596. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.09.001>.
- Renaudeau, D.; Frances, G.; Dubois, S.; Gilbert, H. y Noblet, J. 2013. Effect of thermal heat stress on energy utilization in two lines of pigs divergently selected for residual feed intake. *Animal Science*, 91, 1162-1175.
- Renaudeau, D. (2016). Estrés por calor en porcino. Recuperado de https://www.3tres3.com/articulos/estres-por-calor-en-porcino_36427/ (acceso: 25 de junio de 2019).
- Ridoutt, B. G.; Sanguansri, P.; Freer, M. y Harper, G. S. (2012). Water footprint of livestock: Comparison of six geographically defined beef production systems. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 17(2), 165-175. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s11367-011-0346-y>.
- Roelofs, P. F. (1993). *The influence of soaking procedure, water pressure, water-flow and nozzle on water usage and working time to clean pig houses using a high pressure cleaner*.
- Roguet, C.; Massabie, P.; Gourmelen, C. y Douguet, G. (2007). *Le parc des élevages de porcs en France: état des lieux, évaluation du besoin d'investissement*. French Pork and Pig Institute (IFIP). Disponible en: www.ifip.asso.fr (acceso: 15 de junio de 2016).
- Roubicek, C. B. (1969). Water metabolism. En E. S. E. Afees e I. A. Dyer (eds.), *Animal Growth and Nutrition* (pp. 353-373). Philadelphia: Lea and Febiger.
- Royer, E.; Ernandorena, V. y Escribano, F. (2007). Effects of the water-feed ratio and of a rheological sepiolite on some physical parameters of liquid feed and performances of pigs. *58th Annual Meeting of the European Association for Animal Production (EAAP)*, 26-29 de agosto de 2007, Dublín, Irlanda.
- Roy, H.; Calvar, C.; Landrain, B. y Royer, E. (2007). *Le point sur l'utilisation et les possibilités du matériel de distribution de l'aliment en soupe en élevage de porcs: matériels techniques et informatiques, problèmes rencontrés, améliorations possibles*. Chambres d'agriculture de Bretagne. Recuperado de www.bretagne.synagri.com (acceso: 15 de junio de 2016).
- Russell, P. J.; Geary, T. M.; Brooks, P. H. y Campbell, A. (1996). Performance, water use and effluent output of weaner pigs fed ad libitum with either dry pellets or liquid feed and the role of microbial activity in the liquid feed. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 72, 8-16.
- Schiavon, S. y Emmans, G. C. (2000). A model to predict water intake of a pig growing in a known environment on a known diet. *British Journal of Nutrition*, 84, 873-883.
- Shaw, M. I.; Beaulieu, A. D. y Patience, J. F. (2006). Effect of diet composition on water consumption in growing pigs. *Journal of animal Science*, 84, 3123-3132.
- See, T. (2001). Swine News. *North Carolina Cooperative Extension Service*, 24(2). Recuperado de http://mark.asci.ncsu.edu/Swine_News/2001/sn_v2402.htm.
- Steinfeld, H.; Gerber, P.; Wassenaar, T.; Castel, V.; Rosales, M. y Haan, C. de. (2006). Livestock's long shadow: environmental issues and options. En LEAD/FAO, (ed.), *Frontiers in Ecology and the Environment*. Rome, Italy. Recuperado de [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2007\)5\[4:D\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2007)5[4:D]2.0.CO;2).
- Tavares, J. (2014). The Water Disappearance and Manure Production at Commercial Growing-Finishing Pig Farms. *Livestock Science*, 169.C, 146-154.

- Torrey, S.; Toth Tamminga, E. L. M. y Widowski, T. M. (2008). Effect of drinker type on water intake and waste in newly weaned piglets. *Journal of Animal Science*, 86(6), 1439-1445. Recuperado de <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0632>.
- Turner, S. P.; Edwards, S. A. y Bland, V. C. (1999). The influence of drinker allocation and group size on the drinking behaviour, welfare and production of growing pigs. *Animal Science*, pp. 617-624.
- Vermeer, H. M.; Kuijken, N. y Spoolder, H. (2009). Motivation for additional water use of growing-finishing pigs. *Livestock Science*, 124, 112-118.
- VIDO: Veterinary Infectious Diseases Organization. (1998). *Washing Water Survey by VIDO Swine Technical Group*. Veterinary Infectious Diseases Organization, Saskatoon, Saskatchewan.
- Yang, T. S.; Howard, B. y Macfarlane, W. V. (1981). Effect of food on drinking behaviour of growing pigs. *Applied Animal Ethology*, 7, 259-270.
- Wang, Y.; Zhou, J.; Wang, G.; Cai, S.; Zeng, X. y Qiao, S. (2018). Advances in low-protein diets for swine. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 9(60), 14. Recuperado de <https://doi.org/10.1186/s40104-018-0276-7>.
- Wastell, M.E.; Garbossa, C. A. P. y Schinckel, A. P. (2018). Effects of wet/dry feeder and pen stocking density on grow-finish pig performance. *Translational Animal Science*, 2(4), 358-364. Recuperado de <https://doi.org/10.1093/tas/txy073>.
- WHO. (2017). *Guidelines for drinking-water quality* (4.ª ed.). Ginebra, Suiza: World Health Organization. Recuperado de <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254637/9789241549950-eng.pdf;jsessionid=C0B9291BA9FC13EAEFC7D78524B7EE97?sequence=1>.
- Zhao *et al.* (2019).
- Zhuo *et al.* (2019).

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Distribución del total de agua consumida diariamente por una explotación de ciclo cerrado según su utilización (valores obtenidos por muestreo en diferentes granjas de Canadá) (Froese y Small, 2001) | 8 |
| Tabla 2. Estimación de la demanda de agua en una granja de ciclo cerrado de 1.200 cerdas productivas. | 8 |
| Tabla 3. Balance de agua en porcino en condiciones de termoneutralidad (Mroz <i>et al.</i> , 1995) | 10 |
| Tabla 4. Datos referentes al balance de pérdidas de agua (l/día) en cerdos de 60 kg en condiciones de termoneutralidad..... | 11 |
| Tabla 5. Utilización de agua en cerdos en diferentes fases productivas..... | 11 |
| Tabla 6. Utilización del agua en cerdas gestantes..... | 12 |
| Tabla 7. Utilización del agua en cerdas lactantes | 12 |
| Tabla 8. Utilización del agua en cerdos en transición..... | 13 |
| Tabla 9. Utilización del agua en cerdos en crecimiento-engorde. | 13 |
| Tabla 10. Principales factores que afectan a los requerimientos e ingestión de agua en cerdos (adaptado de Meunier-Salaün <i>et al.</i> , 2017). | 14 |
| Tabla 11. Temperaturas ambientales recomendadas (°C) por diferentes autores para cerdos producidos en condiciones de manejo normales y adecuadas. | 16 |
| Tabla 12. Relación entre el agua utilizada y el pienso consumido en cerdos alimentados con pienso seco. | 17 |
| Tabla 13. Valores medios y desviaciones estándar de la utilización de agua, masa de orina y heces, masa de purines y ratio orina/heces para cerdas gestantes alimentadas con tres dietas con distintos niveles de fibra (Massè <i>et al.</i> , 2003)..... | 18 |
| Tabla 14. Efecto del nivel de proteína y del contenido de minerales en el balance diario de agua en cerdos en crecimiento (Shaw <i>et al.</i> , 2006)..... | 19 |
| Tabla 15. Uso del agua en cerdos de engorde alimentados con alimento líquido y libre acceso a una fuente de agua (adaptado de Vermeer <i>et al.</i> , 2009)..... | 20 |
| Tabla 16. Tipología y características de los bebederos de chupete y cazoleta disponibles para porcino..... | 22 |
| Tabla 17. Ahorro en la utilización de agua con base en diferentes tipos de bebedero | 23 |
| Tabla 18. Recomendaciones para el flujo de agua (litros/minuto) en bebederos de chupete según el tipo de animal..... | 25 |
| Tabla 19. Utilización de agua y producción de purín diario obtenidos con el comedero seco-húmedo y expresada en porcentaje frente al comedero seco. | 28 |
| Tabla 20. Criterios físico-químicos para referirse a la calidad del agua. | 34 |
| Tabla 21. Parámetros microbiológicos que considerar para el agua de consumo (FEDNA, 2013)..... | 35 |
| Tabla 22. Tratamiento del agua y acción principal esperada | 35 |

| | |
|---|----|
| Tabla 23. Diferentes tipologías de chupetes..... | 38 |
| Tabla 24. Ejemplo de las diferentes piezas que componen un bebedero de chupete..... | 39 |
| Tabla 25. Caudal de los bebederos tipo chupete en función de la posición de la rosca a una presión de trabajo de 1 bar. | 39 |
| Tabla 26. Caudal del chupete de pitorro corto ancho (11) según el diámetro de salida (\varnothing) y la presión de agua (P)..... | 40 |
| Tabla 27. Número de bebederos por modelo y número de repeticiones realizadas en las pruebas de caracterización en el laboratorio. | 44 |
| Tabla 28. Caudal obtenido en función del tipo de bebedero | 45 |
| Tabla 29. Especificaciones técnicas de los contadores | 50 |
| Tabla 30. Promedio de error y caudal obtenido tras pasar un volumen conocido de 120 litros de agua por el circuito para los seis diferentes modelos de contadores | 51 |
| Tabla 31. Efecto del tipo de bebedero sobre el volumen, la composición y el valor fertilizante del purín de cerdos de engorde (Álvarez-Rodríguez <i>et al.</i> , 2013)..... | 55 |
| Tabla 32. Efecto del tipo de bebedero sobre el peso (kg), ganancia media diaria (g/día) e ingestión de pienso (kg/animales y día) en cerdos en crecimiento-cebo | 55 |
| Tabla 33. Nivel de significación de la forma de presentación del pienso sobre las variables de estudio (ingestión de pienso, consumo de agua total, en la cazoleta y en la tolva) | 56 |
| Tabla 34. Volumen y composición físico-química del purín en función de la forma de presentación del pienso | 58 |
| Tabla 35. Resultados de variables relacionadas con el uso del agua para el total del estudio (estimadores mínimos cuadráticos, LSM — <i>least squares means</i> —); se: error estándar; Sig.: significación..... | 61 |
| Tabla 36. Resultados de variables de rendimiento para el total del estudio | 61 |
| Tabla 37. Incremento económico por plaza y año de cerdo de engorde por la gestión del agua dependiendo del porcentaje de desperdicio evitado | 63 |
| Tabla 38. Huella hídrica (HH) en la producción de carne y proteína de diferentes especies (cerdos, pollos, terneros) (Miglietta <i>et al.</i> , 2015). | 68 |
| Tabla 39. Importancia relativa de la economía y de la ocupación de los rectores de la economía española y consumos de agua (azul y verde; nacional e importada) relacionada con cada sector (adaptada de Aldaya <i>et al.</i> , 2012) | 72 |
| Tabla 40. Huella hídrica del sector agroalimentario soportada por el valle del Ebro (adaptado de Almazán-Gómez <i>et al.</i> , 2018)..... | 75 |
| Tabla 41. Evolución del balance de la disponibilidad de cereales en España entre 2008 y 2017 (http://www.fao.org/faostat/)..... | 76 |
| Tabla 42. Resultados de la caracterización de la huella hídrica (HH) para los diferentes productos y unidades funcionales definidas para la cadena de producción de carne de cerdo (Noya <i>et al.</i> , 2016). | 78 |
| Tabla 43. Producción de carne porcina y pienso para porcino, y la huella hídrica (HH) estimada entre los años 2009 y 2018 (elaboración propia a partir de los datos del MAPAMA, 2019). | 78 |
| Tabla 44. Evolución de la huella hídrica por el consumo de pienso en la fase de reproducción por lechón destetado (elaboración propia con los datos obtenidos de BD_Porc, 2019)..... | 79 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 45. Evolución en el consumo de pienso para la producción de cerdo entre los años 2008 y 2018 y la huella hídrica procedente del consumo de pienso (elaboración propia) | 80 |
| Tabla 46. Utilización directa de agua en cerdos en diferentes fases productivas..... | 81 |
| Tabla 47. Comparación del uso directo de agua (l/cerdo producido y l/kg de incremento de peso vivo) en cada fase del sistema de producción..... | 82 |
| Tabla 48. Uso de agua en cerdos de engorde (de 18 a 105 kg) obtenidos en la granja piloto del Centre d'Estudis Porcins en los últimos años..... | 83 |
| Tabla 49. Resultados de uso de agua de bebida en dos granjas comerciales de porcino (A y C) en la fase de engorde. | 84 |
| Tabla 50. Uso de agua en cerdos de transición (de 6 a 18 kg) obtenidos en la granja piloto del Centre d'Estudis Porcins en los últimos años..... | 85 |
| Tabla 51. Uso de agua en granjas de producción de lechones en fase de transición con alimentación líquida..... | 85 |
| Tabla 52. Uso de agua en una granja de madres..... | 86 |
| Tabla 53. Estimación de uso de agua en una granja de madres de 3.350 cerdas productivas. | 86 |
| Tabla 54. Variabilidad en el rendimiento de las granjas de reproductoras porcinas españolas (BD_Porc, 2019)..... | 87 |
| Tabla 55. Datos productivos en las fases de transición y engorde de cerdos en producción intensiva suponiendo tres niveles de producción (peor, media y mejor) (elaboración propia a partir de los datos del O_Porcí, 2019) | 88 |
| Tabla 56. Comparación del consumo de agua (l/cerdo engordado y l/kg de cerdo engordado) en cada fase de la cadena de producción (reproducción, transición y engorde) teniendo en cuenta tres niveles de rendimiento (peor, media, mejor) | 89 |
| Tabla 57. Nitrógeno excedente y su efecto en España por provincia y su cálculo (elaboración propia a partir de los datos del <i>Balance de nitrógeno</i> del MAPA, 2018) | 91 |
| Tabla 58. Excedente de nitrógeno (toneladas) y reducción del nitrógeno excedentario al usar dietas con diferente contenido de proteína bruta en la fase de reproducción (rep.) y en la de engorde (eng.) (elaboración propia a partir de los censos porcinos de 2016) | 92 |
| Tabla 59. Generación de purines y emisiones en función del tipo de granja (peor, media, mejor) y de si está situada en zona no excedentaria o excedentaria | 93 |
| Tabla 60. Rendimiento y emisiones (t CO2 eq.) en función del sistema de tratamiento aplicado | 93 |
| Tabla 61. Valores mínimos de abertura recomendada para bebederos de cazoleta (Department for Environment Food and Rural, 2003, 2006; NFAAC, 2014)..... | 98 |
| Tabla 62. Tipos de bebedero y ahorro en el uso de agua..... | 100 |
| Tabla 63. Número de animales por bebedero (<i>Pork Industry Handbook</i> , 2000). | 101 |
| Tabla 64. Alturas recomendadas para bebederos de cazoleta y chupete..... | 102 |
| Tabla 65. Presión recomendada para el agua en el bebedero..... | 103 |
| Tabla 66. Recomendaciones en el caudal de agua en los bebederos para porcino..... | 104 |
| Tabla 67. Temperaturas ambientales recomendadas (°C) por diferentes autores para cerdos producidos en condiciones de manejo normales y adecuadas. | 105 |
| Tabla 68. Condiciones de dieta baja en proteína para aplicar una reducción del 10% en el consumo de agua de bebida por categoría de porcino (ECOGAN 2019)..... | 106 |
| Tabla 69. Criterios físico-químicos para referirse a la calidad del agua. | 107 |
| Tabla 70. Parámetros microbiológicos que considerar para el agua de consumo (FEDNA, 2013)..... | 108 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Vías de entrada y salida del agua en porcino | 9 |
| Figura 2. Balance resumen referente a la salida de agua en porcino en crecimiento (adaptado de Patience, 2012). | 10 |
| Figura 3. Comportamiento térmico del cerdo en condiciones de frío y de calor (adaptado de Renaudeau <i>et al.</i> , 2014). | 15 |
| Figura 4. Uso diario de agua (Gill, 1987) | 20 |
| Figura 5. Altura y posición de los bebederos. | 26 |
| Figura 6. Ejemplo de propuesta de instalación de bebederos de chupete. | 26 |
| Figura 7. Tolva de acceso múltiple con dos chupetes (https://porinox.com/categoria-producte/tolvas/tolvas-wean-to-finish/) | 27 |
| Figura 8. Tolva circular con chupete (https://tiendaganadera.com/Comederos-y-tolvas-cerdos) | 27 |
| Figura 9. Sistema RFID instalado en torno al bebedero tipo chupete que permite la identificación individual de los animales; RFID = identificación por radiofrecuencia | 29 |
| Figura 10. Diagrama de control de los factores de riesgo | 36 |
| Figura 11. Elementos indispensables en el circuito de distribución de agua de la explotación porcina. | 37 |
| Figura 12. Esquema de los diferentes niveles de caudal que tener en cuenta en la funcionalidad de un contador de agua. | 41 |
| Figura 13. Tipos de bebedero de chupete analizados a nivel de laboratorio. | 44 |
| Figura 14. Evolución del caudal en función de la presión de trabajo. | 45 |
| Figura 15. Análisis del caudal (media en l/min) según presión del circuito de agua y tipología de chupete (n = 920). | 46 |
| Figura 16. Análisis del caudal (media en l/min) según presión del circuito de agua y tipología de chupete. | 46 |
| Figura 17. Circuito de agua donde se analizó el efecto de la pérdida de presión. | 47 |
| Figura 18. Análisis del caudal de los diferentes bebederos ubicados en forma continua en un circuito de agua según la pérdida de carga (B y L: chupetes de pitorro; A y R: chupetes pico-pato) | 48 |
| Figura 19. Circuito instalado en el laboratorio de producción animal de la Universidad de Lleida. | 49 |
| Figura 20. Relación entre caudal nominal (Q3), caudal de transición (Q2) y caudal real de la prueba para cada contador | 51 |
| Figura 21. Relación entre el error (%) de medición y el caudal para cada contador y un total de 120 litros de agua acumulados. | 52 |
| Figura 22. Características de los cuatro tipos de bebederos utilizados en el ensayo (a: chupete accionado por pulsador cilíndrico; b: chupete accionado por bola; c: cazoleta cuadrada con chupete multidireccional; d: cazoleta redonda con chupete multidireccional). | 53 |

| | |
|--|----|
| Figura 23. Consumo de agua (l/día) y ratio agua/pienso (l/kg) (entre paréntesis dentro de cada barra) en cerdos de engorde (20-100 kg) alimentados con un programa de alimentación de tres fases y diferente tipo de bebedero. Letra distinta dentro de cada fase de alimento | 54 |
| Figura 24. Consumos de agua en la cazoleta (l/cerdo/día) en función de la forma de presentación del pienso y la fase de crecimiento..... | 57 |
| Figura 25. Consumos de pienso en función del modelo de bebedero, la forma de presentación del pienso y la fase de crecimiento..... | 57 |
| Figura 26. Diseño de la cazoleta suplementaria de recogida de agua sobrante. Autocad 3D | 59 |
| Figura 27. Disposición de la cazoleta suplementaria instalada en condiciones de trabajo | 60 |
| Figura 28. Desperdicio de agua | 62 |
| Figura 29. Sobrecoste de la gestión de la explotación debido al incremento de consumo de agua (10-25%) y al coste de gestión de los purines (1,5, 2 y 3 €/m ³). | 64 |
| Figura 30. Flujos mundiales de agua (adaptado de Hoekstra y Mekonnen, 2012)..... | 65 |
| Figura 31. Uso de agua para producir productos vegetales y animales (adaptado de Mekonnen y Hoekstra, 2010, 2011, 2012) | 67 |
| Figura 32. La huella hídrica directa e indirecta en cada etapa de la cadena de suministro de un producto animal (adaptado de Hoekstra, Chapagain, Aldaya y Mekonnen, 2011)..... | 67 |
| Figura 33. Diagrama de flujos en la cadena de la producción animal (adaptado de Boles, 2013, y Matlock <i>et al.</i> , 2014) | 68 |
| Figura 34. Huella hídrica de los diferentes sistemas de producción de carne (adaptado Mekonnen y Hoekstra, 2012, y Gerbens-Leenes, Mekonnen y Hoekstra, 2013). | 69 |
| Figura 35. Diagrama de flujo en la cadena de producción de carne porcina (adaptado de Boles, 2013, y Matlock <i>et al.</i> , 2014). | 70 |
| Figura 36. Uso de agua en el entorno de la granja (adaptado de Boles, 2013, y Matlock <i>et al.</i> , 2014). | 71 |
| Figura 37. Componentes de la huella hídrica de España por sectores (hm ³ /año). La muestra contabiliza el agua azul y el agua verde para el año 2001 (MARM, 2009 y 2011) | 71 |
| Figura 38. Flujos de agua virtual por CC. AA. (adaptado de MARM, 2011). | 72 |
| Figura 39. Huella hidrológica (agua directa verde y azul en hm ³ /año) de la agricultura española (2001) (MARM, 2009, 2011)..... | 73 |
| Figura 40. Demanda de agua de las diferentes cuencas hidrológicas (refrigeración, regadío, industrial o urbana) en España (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2008) | 74 |
| Figura 41. Productividad aparente del agua y huella hídrica azul y verde de la producción de cultivos en la agricultura española (año 2006) (adaptado de Garrido <i>et al.</i> , 2010)..... | 74 |
| Figura 42. La huella hídrica de la cuenca del Guadalquivir dentro del ciclo hidrológico (adaptado de Aurélien <i>et al.</i> , (2012)..... | 75 |
| Figura 43. El agua azul y verde de la producción porcina española acorde a su origen (interna o externa y productos alimenticios o dehesa) y el agua virtual importada y exportada en relación con el comercio internacional de productos porcinos (De Miguel <i>et al.</i> , 2015)..... | 77 |

| | |
|---|-----|
| Figura 44. Evolución del índice de conversión en transición y engorde en Cataluña durante el período 2008-2018 (O_Porcí, 2019)..... | 80 |
| Figura 45. Estimación de la evolución de la huella hídrica del sector porcino español en las últimas décadas (de 1990 a 2018)..... | 89 |
| Figura 46. Representación esquemática de los principales elementos de un circuito de distribución de agua en granjas | 96 |
| Figura 47. Dimensiones funcionales del bebedero. | 98 |
| Figura 48. Cazoleta con pitorro. | 99 |
| Figura 49. Bebedero con cazoleta. | 99 |
| Figura 50. Tolla con chupete incorporado. | 99 |
| Figura 51. Chupete incorporado en el comedero y comedero con válvula de nivel..... | 100 |
| Figura 52. Altura de la cazoleta y el chupete..... | 101 |
| Figura 53. Bebedero con altura regulable | 102 |
| Figura 54. Posición correcta e incorrecta del difusor..... | 103 |
| Figura 55. Despiece de elementos que componen un bebedero de chupete..... | 104 |

