

Sumario

Producción Animal

- Efecto de la sustitución del pienso convencional por cebada granulada, durante el periodo de acabado, sobre los resultados productivos, calidad de la canal, de la carne y de la grasa intramuscular de cerdos destinados a la producción de jamón de Teruel
Effect of substitution of conventional feed by granulated barley, during finishing period, on productive performance and carcass, meat and intramuscular fat quality of pigs intended to Teruel ham production
I. Garitano, C. Liébana, E. Feliz de Vargas, A. Daza y C.J. López Bote 241
- Caracterización productiva y ambiental de un sistema semi-extensivo de engorde de cerdos en condiciones de sequía en Uruguay
Productive and environmental characterization of a semi-extensive fattening system for fattening pigs in drought conditions in Uruguay
O. Blumetto, S. Calvet, F. Estellés, A. Villagrà y A.G. Torres 256
- Caracterización productiva de la raza Ojinegra de Teruel: ¿Es la explotación un factor determinante?
Characterization of the Ojinegra sheep breed performance: Is the farm a decisive factor?
R. Ripoll-Bosch, D. Villalba, I. Blasco, S. Congost, F. Faló, R. Revilla y M. Joy 275
- Duración de la incubación artificial en perdiz roja (*Alectoris rufa*)
Length of the artificial incubation in red-legged partridge (Alectoris rufa)
P. González-Redondo, R. Gutiérrez-Escobar, R. Díaz-Merino, P. Panea-Tejera y A.R. Martínez-Domínguez 289
- Producción de leche y crecimiento de corderos en la raza Ojinegra de Teruel
Milk production and lamb growth in Ojinegra sheep breed
R. Ripoll-Bosch, J. Álvarez-Rodríguez, I. Blasco, R. Picazo y M. Joy 298

Producción Vegetal

- Análisis tecnológico-funcional y arquitectónico de las almazaras cordobesas en la Edad Moderna
Technological-functional and architectural analysis of the cordovan oil mills in the Modern Age
M.Y. López, F. Montes, E. Burgos y A. Moreno 312

- Microbiota asociada a la enfermedad de la punta negra del trigo duro. Efectos del riego, el abonado nitrogenado y la variedad cultivada en la incidencia de la enfermedad
Fungal microbiota associated with black point disease on durum wheat. Effects of irrigation, nitrogen fertilization and cultivar
C. García, D. Palmero, M. De Cara, A. Cruz y M. González Jaén 343
- Evaluación de un lodo secado térmicamente en la fertilización de cultivo de cereal
Assessment of a thermally-dried sewage sludge in the fertilization of cereal crops
M.M. Delgado, J.V. Martín, C. Rodríguez, R. Miralles de Imperial 357
- Evaluación de nutrientes lixiviados bajo cultivo de maíz por aporte de estiércoles de granjas avícolas
Leaching of nutrients from corn culture in amended soil with poultry manure
R. Miralles de Imperial, J.V. Martín, R. Calvo y M.M. Delgado 376

Efecto de la sustitución del pienso convencional por cebada granulada, durante el periodo de acabado, sobre los resultados productivos, calidad de la canal, de la carne y de la grasa intramuscular de cerdos destinados a la producción de jamón de Teruel

I. Garitano*, C. Liébana**, E. Feliz de Vargas*, A. Daza***,1 y C.J. López Bote****

* Diputación Provincial de Teruel

** Consejo Regulador de la Denominación de Origen Jamón de Teruel

*** Departamento de Producción Animal. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid

**** Departamento de Producción Animal. Facultad de Veterinaria. Universidad Complutense de Madrid

Resumen

Según un diseño experimental factorial que observó 2 sexos x 4 tratamientos alimenticios, se han utilizado 32 cerdos, 16 machos castrados y 16 hembras enteras, Duroc x (Landrace x Large White) destinados a la producción de Jamón de Teruel (España). El periodo de cebo transcurrió entre los 32,6 y 126,9 kg. Los tratamientos aplicados fueron: sustitución del pienso convencional (tratamiento control, 15,72% de proteína bruta y 0,91% de lisina) por cebada granulada (9,33% de proteína bruta y 0,34% de lisina) desde los 41 (tratamiento cebada 41), 63 (tratamiento cebada 63) o 81 días (tratamiento cebada 81) de cebo hasta el sacrificio. Los tratamientos cebada 41 y 63 empeoraron significativamente la ganancia media diaria y el índice de conversión. El tratamiento alimenticio no tuvo influencia significativa sobre la mayoría de las características de la canal. Los machos tuvieron un espesor de grasa, a nivel del *Gluteus medius*, significativamente superior ($P < 0,05$) que las hembras. En el músculo *Longissimus thoracis* la cebada granulada aumentó el porcentaje de grasa intramuscular y las proporciones de ácido oleico y de ácidos grasos monoinsaturados totales y redujo las proporciones de C18:2n-6 y del total de ácidos grasos n-6 y poliinsaturados. En la grasa intramuscular del *Longissimus thoracis* la proporción de ácido linoleico fue superior en las hembras que en los machos. Se concluye que la sustitución del pienso convencional por cebada granulada, mejora la calidad de la carne y de la grasa intramuscular pero empeora los resultados productivos de cerdos pesados destinados a la producción de Jamón de Teruel.

Palabras clave: Cebada granulada, sexo, resultados productivos, canal, grasa intramuscular, ácidos grasos.

Summary

Effect of substitution of conventional feed by granulated barley, during finishing period, on productive performance and carcass, meat and intramuscular fat quality of pigs intended to Teruel ham production

According to a factorial experimental design that observed 2 genders x 4 feeding treatments, 32 Duroc x (Landrace x Large White) pigs, 16 castrated males and 16 intact females, intended to Teruel (Spain) ham

1. Autor para correspondencia: argimiro.daza@upm.es

production were used. The growing-finishing period lasted from the 32.6 to 126.9 kg. The feeding treatments applied were: substitution of conventional feed (control treatment with 15,72% crude protein and 0,91% lysine), by granulated barley (9,33% crude protein and 0,34% lysine) from 41 (barley 41 treatment), 63 (barley 63 treatment) or 83 (barley 83 treatment) days after the beginning of growing-finishing period to slaughter. The barley 41 and 63 treatments impaired significantly the average daily gain and feed conversion efficiency. The feeding treatment had not significant influence on most carcass characteristics. The castrated males had a significantly higher ($P<0.05$) fat thickness at level of the *Gluteus medius* muscle than intact females. In the *Longissimus thoracis* muscle granulated barley increased the percentage of intramuscular fat and the proportions of oleic and total monounsaturated fatty acids, whereas those of linoleic, total n-6 and polyunsaturated fatty acids were reduced. In the intramuscular fat of *Longissimus thoracis* the linoleic acid proportion was higher in females than in males. It is concluded that the substitution of conventional feed by granulated barley improved meat and intramuscular fat quality, but impaired productive performance in heavy pigs destined to Teruel ham production.

Key words: Granulated barley, gender, productive performance, carcass, intramuscular fat, fatty acid.

Introducción

España es el primer país productor de jamón curado del mundo con una producción total, en el año 2009, próxima a 245.000 toneladas (AICE, 2010). A la Denominación de Origen Jamón de Teruel, en el año 2010, estaban adscritas 256 granjas, 100 de reproductores que incluían 31.354 cerdas y 156 de cebo, que generaron 580.000 cerdos pesados que se sacrificaron, generalmente, entre 120 y 130 kg, lo que permitió una producción de 465.065 perniles (Consejo Regulador Denominación de Origen Jamón de Teruel, 2011). La problemática actual de la producción de cerdos pesados destinados a la producción de jamón curado reside, por una parte, en los elevados costes de producción, derivados de la subida abusiva del precio de las materias primas para alimentación animal y, por otra, en la reducción del consumo nacional de carne porcina, lo que ha obligado a que de los 3,4 millones de toneladas de carne de cerdo producidos en nuestro país en 2009 el montante de las exportaciones supusiera, en el citado año, casi 1.300.000 toneladas (MARM, 2010). El desarrollo de la producción de cerdos pesados en España, en general, y en Teruel, en particular, con el fin de aumentar el consumo

interior y las exportaciones, depende de la producción de productos cárnicos de calidad uniforme, contrastada y diferenciada que muestren características que se adapten a las preferencias de los consumidores. Debido a ello, es interesante establecer estrategias nutricionales dirigidas a mejorar la calidad tecnológica y sensorial de los productos elaborados sin que los costes de producción del cerdo cebado aumenten ostensiblemente. En este sentido, el contenido de grasa intramuscular (GIM) y el perfil de ácidos grasos son dos aspectos que tienen especial incidencia sobre la calidad (López-Bote *et al.*, 2004).

Desde hace algunos años nos hemos planteado, como hipótesis de trabajo, que la sustitución de cebada por el pienso convencional al final del periodo de acabado (100-130 kg), al reducirse las relaciones proteína/energía y lisina/energía, podría aumentar el porcentaje de GIM y la calidad de la grasa. Así, D'Souza *et al.* (2003) observaron que una reducción de la relación lisina/energía durante el periodo de crecimiento aumentaba el porcentaje de GIM en el músculo *Longissimus thoracis*, y otros trabajos posteriores (Daza *et al.*, 2010, 2011a) han demostrado que la sustitución del pienso convencional por cebada durante el periodo de crecimiento o aca-

bado tenía efectos positivos sobre la calidad de la carne y de la grasa subcutánea e intramuscular de cerdos pesados destinados a la producción de Jamón de Teruel.

En el presente experimento, con un diseño experimental distinto al de los trabajos precitados, se estudia el efecto de la sustitución del pienso convencional por cebada, durante tres fases, de distinta duración, del periodo de acabado, sobre los resultados productivos, calidad de la canal, de la carne y de la GIM de cerdos destinados a la producción de Jamón de Teruel.

De otra parte, algunos estudios previos (Daza *et al.*, 2010; Daza *et al.* 2011b) han encontrado una relación positiva entre la calidad de la grasa y el porcentaje de GIM del músculo *Longissimus thoracis*. A nuestro juicio, este aspecto es importante para la mejora genética, ya que la selección del contenido de GIM, paralelamente, mejoraría la calidad de la grasa. Por ello, con el fin de corroborar tal resultado, adicionalmente, también se estudia, en este trabajo, la relación entre el porcentaje de GIM del músculo *Longissimus thoracis* y la proporción de los principales ácidos grasos, índices de insaturación y de calidad de la grasa.

Material y métodos

Se han utilizado 32 cerdos, 16 machos castrados y 16 hembras enteras, Duroc x (Landrace x Large White), procedentes de líneas genéticas comerciales grasas de las razas Duroc, Landrace y Large White explotadas en la provincia de Teruel. El peso medio inicial de los animales fue 32,6 kg (eem = 1,3 kg). El diseño experimental, de tipo factorial 2x4, observó dos sexos (machos castrados *versus* hembras enteras) y cuatro tratamientos alimenticios: pienso convencional administrado desde el comienzo del cebo hasta el sacrificio (tratamiento control) y sustitución del pienso

convencional por cebada granulada desde los 41 (tratamiento cebada 41), 63 (tratamiento cebada 63) o 81 (tratamiento cebada 81) días después del inicio del periodo de cebo hasta el sacrificio. Hubo 8 réplicas, 4 de machos y 4 de hembras, a razón de 4 animales por réplica y 2 réplicas por tratamiento alimenticio, una de machos y otra de hembras. El peso medio al sacrificio de los cerdos fue de 126,9 kg (eem = 2,9 kg). La composición en materias primas, nutrientes principales y ácidos grasos del pienso control y de la cebada granulada aparece reflejada en la Tabla 1. El consumo de pienso se controló por réplica, por lo que las variables consumo medio diario de pienso e índice de conversión se calcularon utilizando dicho control. En el matadero se recabaron los valores del peso canal, y los de longitud interna de la canal (distancia entre el borde anterior de la sínfisis isquiopubiana y el borde anterior de la primera costilla), longitud del jamón (distancia entre el borde anterior de la sínfisis isquiopubiana y el centro de la articulación tarso-metatarsiana), y perímetro del jamón (medido por su máximo diámetro) mediante cinta métrica. Así mismo, se obtuvieron los espesores de grasa dorsal a nivel de la última costilla y del músculo *Gluteus medius* utilizando un calibrador o pie de rey. Tres muestras por tratamiento alimenticio y sexo (3 muestras x 4 tratamientos x 2 sexos = 24 muestras) de la región caudal del músculo *Longissimus thoracis* fueron recogidas al azar, y posteriormente congeladas a -20 °C hasta que fueron analizadas, para estudiar la composición del tejido muscular y el perfil de ácidos grasos de la GIM. Los contenidos de humedad y de proteína bruta del tejido muscular se determinaron por el método de Wende. La GIM del músculo *Longissimus thoracis* se extrajo con una mezcla de cloroformo/metanol (2:1v/v) siguiendo el procedimiento descrito por Folch *et al.* (1956). Los extractos lipídicos fueron metilados en presencia de metóxido de sodio y se analizaron

Tabla 1. Composición en materias primas y nutrientes calculados (1) de los piensos experimentales
 Table 1. Ingredients and calculated (1) nutrients composition of experimental diets

Pienso control	g/kg	Cebada granulada	g/kg
Cebada	330	Cebada	972
Trigo	210	Sepiolita	10
Maíz	220	Carbonato de calcio	4
Soja -44	190	Fosfato bicálcico	7
Melaza	17	Sal	3
L-Lisina-50	5	Corrector vitamínico-mineral (2)	4
Carbonato de calcio	6		
Fosfato bicálcico	12		
Sal	5		
Corrector vitamínico-mineral (2)	5		
Nutrientes		Nutrientes	
Materia seca (g/kg)	880,3		893,6
EM (Mcal/kg)	3,07		3,07
Proteína bruta (g/kg)	157,2		93,3
Extracto etéreo (g/kg)	21,0		17,5
Almidón	439		515
Lisina	9,07		3,36
Cenizas (g/kg)	52,3		44,0
Ácidos grasos			
C16:0	2,50		2,50
C18:0	0,26		–
C18:1 n-9	3,35		1,60
C18:2 n-6	9,08		7,10
C18:3 n-3	0,65		0,78

(1) FEDNA (2010). (2) el corrector vitamínico mineral contenía 7000 UI de vitamina A/kg, 1500 UI de vitamina D₃/kg, 20 mg de vitamina E(α -tocoferol)/kg y 15 mg/kg de sulfato cúprico pentahidratado.

mediante cromatografía gaseosa utilizando un aparato Hewlett-Packard HP-6890 (Avondale, PA, EEUU) equipado con un detector de ionización de llama y una columna capilar HP-Innowax (100 x 0,32 x 0,25 de polietilenglicol) (López Bote *et al.*, 2003). Los datos ob-

tenidos de crecimiento, características de la canal, calidad de la carne y proporción de ácidos grasos en la GIM del *Longissimus thoracis* se estudiaron, considerando al cerdo como unidad experimental, mediante análisis de varianza que incluía, como efectos fijos, al

sexo y tratamiento alimenticio, la interacción entre ambos factores y como covariables el peso inicial, para los resultados de crecimiento, o el peso canal para las características de la canal y de la carne. El consumo medio diario de pienso e índice de transformación del alimento se estudiaron, considerando a la réplica como unidad experimental, mediante análisis de varianza que incluyó como efectos fijos al sexo y tratamiento alimenticio y como covariable al peso inicial de los cerdos. Cuando alguna covariable no era significativa ($P > 0,05$) era retirada del modelo estadístico. Las medias se cotejaron por el test de Duncan y se realizaron contrastes ortogonales para comparar las medias obtenidas con el pienso control y las medias globales de la cebada granulada. Además, se realizaron análisis de regresión simple para relacionar el porcentaje de GIM y el porcentaje de días, respecto al total de la duración del cebo, que los cerdos consumieron cebada, estudiando el efecto del sexo comparando las pendientes de las rectas de regresión mediante la prueba "t" de Student. También, mediante regresión simple, se estudiaron las relaciones entre las proporciones de los ácidos grasos principales, los valores de los índices de insaturación y de calidad de la grasa y el porcentaje de GIM en el músculo *Longissimus thoracis*. Todos los análisis fueron realizados mediante el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS. (1999). Los procedimientos experimentales usados en el presente experimento estuvieron de acuerdo con la normativa reflejada en el Boletín Oficial del Estado (2005) sobre la protección de los animales utilizados para experimentación y otros fines científicos.

Resultados

Según los resultados expuestos en la Tabla 2 la sustitución del pienso convencional por cebada granulada desde los 41 o 61 días de

cebo (65 o 82 kg de peso respectivamente) empeoró significativamente la ganancia media diaria y el índice de conversión del pienso. Sin embargo, cuando se sustituyó el pienso convencional por cebada desde los 81 días de cebo (95 kg de peso), el crecimiento medio diario y el índice de conversión no variaron significativamente respecto a los logrados por los cerdos que recibieron el pienso convencional. Cuando, mediante contrastes ortogonales, se comparó el crecimiento diario y el índice de conversión, entre el tratamiento control y la cebada se observó un aumento significativo ($P < 0,026$) de la ganancia media diaria y una marcada tendencia ($P < 0,060$) a disminuir el índice de conversión en los cerdos del tratamiento control. El sexo no tuvo influencia significativa sobre los resultados productivos, y la interacción tratamiento alimenticio por sexo no fue significativa ($P < 0,05$) para las variables ganancia media diaria y peso al sacrificio de los cerdos.

De acuerdo con los resultados reflejados en la Tabla 3, el tratamiento alimenticio no tuvo efecto significativo ($P < 0,05$) sobre la mayoría de las características de la canal estudiadas. Sólo el perímetro del jamón fue significativamente superior ($P < 0,05$) en los cerdos control que en los pertenecientes a los tratamientos cebada 41, 63 y 81. El sexo tampoco tuvo influencia significativa sobre las características de la canal, con la excepción de que los machos castrados exhibieron un mayor espesor de grasa a nivel del *Gluteus medius* que las hembras enteras. La interacción tratamiento alimenticio por sexo no fue significativa ($P < 0,05$) para ninguna de las características de la canal consideradas.

Ni el tratamiento alimenticio ni el sexo afectaron significativamente al porcentaje de proteína del músculo *Longissimus thoracis* (Tabla 4). Sin embargo, los cerdos del tratamiento control tuvieron menor porcentaje de GIM que los de los tratamientos cebada 41 y 81, y los contrastes ortogonales pusieron de

Tabla 2. Efecto del tratamiento alimenticio (TA) y del sexo (S) sobre los resultados de crecimiento
 Table 2. Effect of feeding treatment (TA) and gender (S) on growth performance

Factor de variación	n	P _i (kg)	P _s (kg)	GMD (g)	Días de cebo	CMDP (kg) (1)	IC (kg/kg) (1) g
TA							
Control	8	32,7	125,8	700 ^a	133	2,07	2,96 ^a
Cebada 41	8	32,2	128,8	575 ^b	168	2,14	3,72 ^b
Cebada 63	8	33,8	128,8	590 ^b	161	2,17	3,68 ^b
Cebada 81	8	31,7	124,1	660 ^{ab}	140	2,13	3,23 ^{ab}
eem		1,31	2,90	30,21		0,09	0,22
S							
Macho	16	33,2	128,1	633	150	2,15	3,42
Hembra	16	32,0	125,6	624	150	2,11	3,38
eem		0,92	2,01	21,13		0,063	0,17
PTA <		0,30	0,42	0,041		0,70	0,039
PS<		0,47	0,68	0,80		0,72	0,84
PTA x S <		0,43	0,56	0,78		—	—
P contraste control vs cebada		0,66	0,67	0,026		0,32	0,060
P covariable P _i			0,47	0,48		0,70	0,73

n = número de cerdos, (1) el número de réplicas para las variables CMDP e IC fueron dos por tratamiento alimenticio y cuatro por sexo, P_i = peso inicial, P_s = peso al sacrificio, GMD = ganancia media diaria, CMDP = consumo medio diario de pienso calculado por réplica, IC = índice de conversión calculado por réplica, eem = error estándar de la media. Según factor de variación, medias con distintos superíndices difieren P<0,05.

manifiesto menor porcentaje de GIM y mayor porcentaje de humedad en los cerdos control que en los correspondientes al tratamiento cebada global. El sexo no afectó significativamente (P<0,05) al porcentaje de GIM, aunque en los machos castrados se detectó un valor numérico superior que en las hembras. En la Tabla 4 también puede observarse como los machos castrados tendieron (P<0,078) a tener menos humedad que las hembras en el *Longissimus thoracis*. La interacción trata-

miento alimenticio por sexo no fue significativa para los porcentajes de humedad (P<0,66), proteína bruta (P<0,88) y GIM (P<0,47) del músculo *Longissimus thoracis*.

La relación global obtenida entre porcentaje de GIM y el porcentaje de días (%D), respecto a la duración total del cebo, que los cerdos consumieron cebada respondió a la ecuación: GIM (%) = 3,651 + 0,341 x %D (n = 24, R² = 0,28, P<0,013), y las relaciones encontradas según sexo fueron:

Tabla 3. Efecto del tratamiento alimenticio (TA) y del sexo (S) sobre las características de la canal
 Table 3. Carcass traits according to feeding treatment (TA) and gender (S)

Factor de variación	n	PC (kg)	RC (%)	LIC (cm)	LJ (cm)	PJ (cm)	JR	EG (mm)	GM (mm)
TA									
Control	8	98,0	77,9	88,0	49,4	78,1 ^a	0,73	33,9	26,8
Cebada 41	8	101,6	78,9	88,5	49,8	75,1 ^b	0,48	35,2	27,0
Cebada 63	8	100,0	77,6	87,7	50,3	75,5 ^b	0,56	30,9	25,5
Cebada 81	8	95,0	76,6	87,4	48,8	76,5 ^b	0,12	34,9	29,1
eem		4,30	0,92	0,68	0,72	0,54	0,26	1,53	1,88
S									
Macho	16	98,9	77,2	87,9	49,5	76,7	0,35	34,7	29,6 ^a
Hembra	16	98,4	78,3	87,9	49,6	76,0	0,47	32,7	24,6 ^b
eem		3,09	0,65	0,81	0,51	0,38	0,18	1,08	1,29
P TA <		0,75	0,21	0,69	0,50	0,032	0,15	0,20	0,58
P S <		0,92	0,51	0,98	0,85	0,20	0,63	0,20	0,011
P TA x S <		0,68	0,83	0,31	0,41	0,65	0,77	0,43	0,45
P covariable PC			0,32*	0,0001	0,16	0,0001	0,007	0,001	0,0043
P contraste control vs cebada		0,88	0,89	0,97	0,73	0,10	0,16	0,96	0,84

n = número de cerdos, PC = peso canal, RC = rendimiento canal, LIC = longitud interna de la canal, LJ = longitud del jamón, PJ = perímetro del jamón, JR = media de jamones rechazados por cerdo, EG = espesor graso dorsal a nivel de la última costilla, GM = espesor de grasa a nivel del músculo *Gluteus medius*, * covariable peso al sacrificio, eem = error estándar de la media. Según factor de variación, medias con distintos superíndices difieren $P < 0,05$.

Machos: $GIM (\%) = 4,240 + 0,0353 \times \%D$
 (n = 12, $R^2 = 0,36$, $P < 0,037$).

Hembras: $GIM (\%) = 2,991 + 0,0425 \times \%D$
 (n = 12, $R^2 = 0,38$, $P < 0,036$).

La comparación de pendientes de las rectas de regresión, correspondientes a machos y hembras, mediante la prueba "t" de Student, no detectó diferencias significativas entre ellas ($P < 0,27$).

Según los resultados expuestos en la Tabla 5, la sustitución del pienso convencional por cebada aumentó significativamente ($P < 0,05$) la proporción de C18:1 n-9, de ácidos grasos monoinsaturados totales (MONO) y de los índices de insaturación C18:1/C18:0 y MONO/saturados totales (SAT) y de calidad de la grasa n-6/n-3, mientras que las proporciones de C18:2 n-6, C20:4 n-6 y el total de ácidos grasos n-6 disminuyeron significativamente.

Tabla 4. Efecto del tratamiento alimenticio (TA) y del sexo (S) sobre la calidad de la carne
 Table 4. Effect of feeding treatment (TA) and gender (S) on meat quality

Factor de variación	n	Humedad (%)	Proteína bruta (%)	Grasa intramuscular (%)
TA				
Control	6	74,9 ^a	21,3	3,4 ^b
Cebada 41	6	72,3 ^b	21,0	6,3 ^a
Cebada 63	6	72,8 ^b	21,3	5,3 ^{ab}
Cebada 81	6	72,9 ^b	21,1	5,6 ^a
eem		0,56	0,38	0,71
S				
Macho	12	72,7	22,2	5,7
Hembra	12	73,8	22,1	4,6
eem		0,40	0,27	0,50
P TA <		0,011	0,82	0,04
P S <		0,078	0,81	0,13
PTA x S <		0,66	0,88	0,47
P covariable PC		0,46	0,59	0,81
P contraste control vs cebada		0,014	0,69	0,014

n = número de cerdos, eem = error estándar de la media. Según factor de variación, medias con distintos superíndices difieren $P < 0,05$.

El tratamiento alimenticio no afectó significativamente a las proporciones de los ácidos grasos saturados C14:0, C16:0, C18:0 y C20:0 y SAT. Los contrastes ortogonales detectaron mayores proporciones de SAT y de ácidos grasos poliinsaturados totales (POLI), mayor valor del índice POLI/SAT y menor proporción de C18:4 n-3 en los cerdos del tratamiento control que en los del conjunto de los tratamientos de la cebada. Las proporciones de C18:2 n-6, totales de n-6 y el índice n-6/n-3 fueron significativamente superiores ($P < 0,05$) en las hembras enteras que en los machos castrados. Los resultados de un análisis de covarianza adicional que incluía en el mo-

delo estadístico como covariable al porcentaje de GIM pusieron de manifiesto un efecto significativo de esta covariable sobre las proporciones de C18:1 n-9, MONO, C18:2 n-6, C20:4 n-6, n-6, C18:3n-3 y POLI y sobre los índices de insaturación C18:1n-9/C18:0 y MONO/SAT y de calidad de la grasa POLI/SAT y n-6/n-3, aunque los valores de las medias de mínimos cuadrados obtenidos no diferían ostensiblemente de los de las medias aritméticas expuestos en la Tabla 5. La interacción tratamiento alimenticio por sexo no fue significativa para ninguno de los ácidos grasos e índices de insaturación y de calidad de la grasa estudiados.

Tabla 5. Influencia del tratamiento alimenticio (TA) y del sexo (S) sobre el perfil de ácidos grasos (AG) de la grasa intramuscular del músculo *Longissimus dorsi*
 Table 5. Influence of dietary treatment (TA) and gender (S) on fatty acid profile (AG) of intramuscular fat from *Longissimus dorsi* muscle

AG	TA					S					Valores de P		
	Cont	C41	C63	C81	eem	M	H	eem	TA	S	TAXS	Contr	
C10:0	0,31	0,16	0,21	0,15	0,044	0,18	0,23	0,03	0,07	0,3	0,81	0,009	
C12:0	0,09	0,05	0,09	0,06	0,014	0,06	0,08	0,001	0,16	0,19	0,62	0,29	
C14:0	1,12	1,13	1,21	1,13	0,043	1,19	1,11	0,030	0,42	0,07	0,84	0,53	
C15:1	0,01	0,02	0,01	0,02	0,005	0,02	0,01	0,004	0,49	0,86	0,43	0,33	
C16:0	22,67	22,34	22,30	22,28	0,29	22,68	22,11	0,21	0,76	0,07	0,82	0,28	
C16:1	3,58	3,42	4,12	3,58	0,18	3,86	3,48	0,13	0,08	0,06	0,78	0,62	
C17:0	0,19	0,16	0,20	0,19	0,011	0,19	0,18	0,008	0,21	0,63	0,47	0,70	
C18:0	12,28	11,80	11,57	12,17	0,22	11,96	11,95	0,16	0,13	0,94	0,76	0,09	
C18:1 n-9	43,89 ^b	49,99 ^a	47,40 ^a	49,67 ^a	1,03	48,29	47,18	0,73	0,003	0,30	0,34	0,0005	
C18:2 n-6	10,11 ^a	7,28 ^b	8,03 ^b	7,15 ^b	0,74	7,36 ^b	8,93 ^a	0,53	0,05	0,05	0,47	0,009	
C18:3 n-3	0,38	0,31	0,35	0,31	0,021	0,33	0,35	0,015	0,09	0,30	0,70	0,02	
C18:4 n-3	0,022 ^b	0,047 ^a	0,048 ^a	0,037 ^{ab}	0,006	0,041	0,036	0,004	0,04	0,47	0,61	0,005	
C20:0	0,16	0,16	0,15	0,17	0,007	0,16	0,15	0,005	0,75	0,30	0,68	0,82	
C20:1	0,70 ^b	0,82 ^a	0,70 ^b	0,73 ^b	0,028	0,75	0,73	0,020	0,02	0,45	0,87	0,16	
C20:3 n-9	0,25	0,32	0,31	0,28	0,025	0,28	0,30	0,017	0,21	0,40	0,82	0,04	
C20:4 n-6	2,88 ^a	1,29 ^b	1,79 ^b	1,36 ^b	0,26	1,56	2,10	0,19	0,002	0,06	0,56	0,0003	
n-6	12,99	8,58	9,83	8,51	1,00	8,92 ^b	11,03 ^a	0,70	0,02	0,05	0,49	0,003	
n-3	0,40	0,36	0,40	0,35	0,02	0,37	0,38	0,014	0,18	0,37	0,79	0,12	

Tabla 5. Influencia del tratamiento alimenticio (TA) y del sexo (S) sobre el perfil de ácidos grasos (AG) de la grasa intramuscular del músculo *Longissimus dorsi* (continuación)
Table 5. Influence of dietary treatment (TA) and gender (S) on fatty acid profile (AG) of intramuscular fat from *Longissimus dorsi* muscle (continuation)

AG	TA				S				Valores de P			
	Cont	C41	C63	C81	eem	M	H	eem	TA	S	TAXS	Contr
SAT	37,32	36,05	36,09	36,40	0,37	36,73	36,20	0,26	0,09	0,16	0,61	0,01
MONO	48,82 ^b	54,62 ^a	52,73 ^a	54,38 ^a	1,08	53,35	51,93	0,76	0,005	0,21	0,41	0,0006
POLI	13,84 ^a	9,32 ^b	11,16 ^{ab}	9,21 ^b	1,07	9,91	11,86	0,76	0,02	0,09	0,64	0,0005
C16:1/C16:0	0,16 ^b	0,15 ^b	0,19 ^a	0,16 ^b	0,007	0,17	0,16	0,005	0,02	0,09	0,65	0,40
C18:1/C18:0	3,57 ^b	4,26 ^a	4,10 ^a	4,09 ^a	0,13	4,05	3,96	0,10	0,01	0,52	0,55	0,0001
MONO/SAT	1,30 ^b	1,52 ^a	1,46 ^a	1,50 ^a	0,035	1,45	1,43	0,025	0,002	0,61	0,32	0,0001
POLI/SAT	0,37 ^a	0,26 ^b	0,31 ^{ab}	0,25 ^b	0,030	0,27	0,33	0,021	0,05	0,07	0,73	0,01
n-6/n-3	32,14 ^a	23,71 ^b	24,35 ^b	24,34 ^b	1,91	24,10 ^b	28,17 ^a	1,35	0,02	0,05	0,50	0,002

Número de observaciones por TA y por S = 6 y 12 respectivamente. Cont, C41, C63 y C81 = tratamientos alimenticios control y cebada 41,63 y 81 respectivamente. M = macho, H = hembra. n-6, n-3, SAT, MONO y POLI = suma de los ácidos grasos n-6, n-3 saturados, monoinsaturados y poliinsaturados respectivamente. eem = error estándar de la media. Contr = valor de P del contraste ortogonal entre el pienso control y la cebada granulada. Según factor de variación, medias con distintos superíndices difieren P<0,05.

En la Tabla 6 aparecen reflejadas las relaciones significativas encontradas en este experimento entre el porcentaje de GIM y las proporciones de ácidos grasos principales e índices de insaturación y de calidad de la grasa calculados. La relaciones entre el porcentaje de GIM y las proporciones de C18:1 n-9, MONO, C18:2 n-6, C20:4 n-6, total de n-6 y POLI se ajustaron a funciones cuadráticas con coeficientes del término lineal positivos y del término cuadrático negativos para los ácidos grasos C18:1 n-9 y MONO y coeficientes del término lineal negativos y del término cuadrático positivos para los ácidos grasos C18:2 n-6, C20:4 n-6, total de n-6 y POLI.

Funciones logarítmicas pusieron de manifiesto una relación negativa y significativa entre las proporciones de C18:3 n-3 y del total de ácidos grasos n-3 y el porcentaje de GIM, mientras que los índices de insaturación C18:1 n-9/C18:0 y MONO/SAT aumentaban linealmente con el porcentaje de GIM y los índices de calidad de la grasa POLI/SAT y n.6/n-3 se reducían, según funciones inversas, conforme aumentaba el porcentaje de GIM. Sin embargo, no se encontraron relaciones significativas ($P < 0,05$) entre el porcentaje de GIM y las proporciones de los ácidos grasos saturados C10:0, C12:0, C14:0, C16:0, C17:0, C18:0, C20:0 y SAT.

Tabla 6. Relaciones significativas ($P < 0,05$) entre el porcentaje de grasa intramuscular (GIM) y las proporciones de ácidos grasos, índices de insaturación y de calidad de la grasa en el músculo *Longissimus dorsi*

Table 6. Significant relationships among intramuscular fat percentage (GIM) and fatty acid proportions and insaturation and fat quality indexes in *Longissimus dorsi* muscle

Ecuación de regresión	n	R ²	DRE	P <
C18:1 n-9 (%) = 33,91 + 3,95 GIM - 0,21 GIM ²	24	0,82	1,53	0,0001
C18: 2 n-6 (%) = 17,76 - 2,85 GIM + 0,18 GIM ²	24	0,85	0,91	0,0001
C20:4 n-6 = 5,90 - 1,22 GIM + 0,073 GIM ²	24	0,86	0,35	0,0001
n-6 = 23,67 - 4,07 GIM + 0,24 GIM ²	24	0,88	1,13	0,0001
C18:3 n-3 = 0,50 - 0,10 ln GIM	24	0,58	0,035	0,0001
n-3 = 0,50 - 0,078 ln GIM	24	0,43	0,036	0,0006
MONO (%) = 38,74 + 3,96 GIM - 0,21 GIM ²	24	0,85	1,41	0,0001
POLI (%) = 24,50 - 3,99 GIM + 0,23 GIM ²	24	0,87	1,18	0,0001
C18:1 n-9/C18:0 = 3,16 + 0,16 GIM	24	0,66	0,23	0,0001
MONO/SAT = 1,20 + 0,047 GIM	24	0,64	0,052	0,0001
POLI/SAT = 0,11 + 0,83/GIM	24	0,88	0,03	0,0001
n-6/n-3 = 14,70 + 49,50/GIM	24	0,82	1,98	0,0001

n = número de pares de valores. n-6, n-3, SAT, MONO y POLI = suma de los ácidos grasos n-6, n-3, saturados, monoinsaturados y poliinsaturados respectivamente. R² = coeficiente de determinación. DRE = desviación residual estándar. P = probabilidad.

Discusión

Los resultados obtenidos en el presente experimento de las variables consumo medio diario e índice de transformación del pienso deben ser considerados con precaución debido al escaso número de réplicas disponibles para tales variables. En este estudio, la sustitución del pienso convencional por cebada granulada supuso una reducción de la relaciones proteína/energía y lisina/energía del 41 y 63% respectivamente.

Como consecuencia de una reducción del 30 y 31% de la relaciones proteína/energía y lisina/energía, durante el periodo de crecimiento, D'Souza *et al.* (2003) observaron un aumento del índice de conversión, aunque no encontraron efecto significativo sobre el crecimiento medio diario obtenido durante todo el periodo de cebo. En un trabajo previo (Daza *et al.*, 2010) se observó que la sustitución de un pienso convencional, con el 15,5% de proteína bruta (PB), por cebada granulada, con el 10,2% de PB, realizada desde los 88,5 kg hasta el sacrificio (130,4 kg), conducía a un empeoramiento del índice de conversión del pienso, pero no afectaba a las características de la canal en cerdos destinados a la producción de Jamón de Teruel. La reducción de las relaciones proteína/energía y lisina/energía, durante la fase de crecimiento, redujo el perímetro del jamón en cerdos destinados a la producción de Jamón de Teruel (Daza *et al.*, 2011a), pero este resultado no se obtuvo cuando tales reducciones se realizaban durante el periodo de acabado.

Los porcentajes encontrados de GIM en el *Longissimus thoracis* han sido superiores a los observados por Daza *et al.* (2010) y Daza *et al.* (2011a) en cerdos destinados a la producción de Jamón de Teruel. Este resultado se explica por que los cerdos del presente experimento procedían de líneas genéticas grasas de las razas Duroc, Landrace y Large White y por que cuando las muestras de músculo se toman de la región caudal del *Longissimus*

thoracis los porcentajes de GIM que se obtienen son más elevados (Rey, 2012 comunicación peronal). La disminución del contenido de lisina en el pienso durante las fases de crecimiento y acabado (Kerr *et al.*, 1995), crecimiento o acabado (Daza *et al.*, 2011a) y acabado (Witte *et al.*, 2000) aumentaba el porcentaje de GIM en el *Longissimus thoracis*, resultado al cual también se llegaba cuando se disminuía el aporte de aminoácidos esenciales durante las 3-5 últimas semanas del periodo de acabado (Cisneros *et al.*, 1996). En el presente experimento, como en los de Daza *et al.* (2010 y 2011a), la sustitución del pienso convencional por cebada, como único ingrediente principal, durante la fase de acabado, aumentó el porcentaje de GIM en el músculo *Longissimus thoracis*. La relación proteína/energía de la ración determina la relación de la deposición de grasa y proteína en los tejidos del cerdo, de manera que cuando disminuye el aporte de proteína tal relación aumenta generándose un incremento del engrasamiento de la canal y del porcentaje de GIM (Castell *et al.*, 1994). En el presente experimento, sin embargo, la reducción de la relación proteína/energía no derivó en un aumento de los espesores de grasa dorsal.

Los resultados de las ecuaciones de regresión que relacionan el porcentaje de GIM con el porcentaje de días, respecto a la duración total del cebo, que se sustituye el pienso convencional por cebada ponen de manifiesto que a medida que aumenta el tiempo de sustitución se incrementa el porcentaje de GIM y que la interacción entre el sexo y el tiempo de sustitución no es significativa.

El efecto positivo de la cebada sobre la proporción de C18:1 n-9 (ácido oleico), resultado también observado por Daza *et al.* (2010 y 2011a), se explica como consecuencia de un incremento de la actividad de la delta-9 desaturasa, enzima que introduce un doble enlace en la posición C-9 de la cadena del C18:0 (ácido esteárico) para formar ácido oleico. Efectivamente, en nuestro estudio,

los índices de insaturación C18:1 n-9/C18:0 y MONO/SAT, que estiman indirectamente la actividad de la delta-9 desaturasa (Daza *et al.*, 2009), aumentaron significativamente en los cerdos que recibieron cebada. Los incrementos de tales índices pueden explicarse porque la actividad de la delta-9 desaturasa se ve favorecida por la deficiencia de grasa y de proteína y por la presencia de niveles elevados de carbohidratos en la ración (Cava y Andrés, 2001). Así, algunos trabajos clásicos han demostrado que raciones pobres en grasa (Wirth *et al.*, 1980) o ricas en carbohidratos (Enser, 1975) aumentaban la actividad de dicha enzima. La concentración de C18:2 n-6 (ácido linoleico) fue un 28% superior en el pienso convencional (tratamiento control) que en la cebada. Por ello, la concentraciones de C18:2 n-9 y de C20:4 n-6, y, como consecuencia, de POLI, fueron superiores en los cerdos del tratamiento control, mientras que ocurrió lo contrario respecto al C18:4 n-3, ácido graso derivado del C18:3 n-3 (ácido linolénico). Los ácidos linoleico y linolénico utilizan el mismo complejo enzimático (deltas-6 y 5 desaturasas) (Sprecher, 1999) y cuando la concentración de linoleico es baja en la ración, como ocurre en la cebada, se favorece la formación de ácidos grasos derivados del linolénico, entre ellos el C18:4 n-3 (Garg *et al.*, 1988; Cava y Andrés, 2001). Un aumento de la concentración del C18:4 n-3 en la grasa intramuscular del jamón fue encontrado por Daza *et al.* (2011a) en cerdos pesados que consumieron cebada granulada entre los 90 y 130 kg.

Según los resultados expuestos en la Tabla 6 es interesante resaltar que el aumento del porcentaje de GIM condujo a un incremento paralelo de las proporciones de los ácidos grasos C18:1 n-9 y MONO y a una reducción de los ácidos grasos POLI, aspectos sin duda interesantes para la mejora genética ya que la selección del contenido de GIM conduciría también a una mejora de la calidad de la grasa. Estos resultados han sido también observados por Daza *et al.* (2010), Olivares *et al.*

(2009) y Daza *et al.* (2011b). Así mismo, Cánovas *et al.* (2009) evidenciaron relaciones lineales positivas entre la expresión proteica de la enzima delta-9 desaturasa y el contenido de GIM, la proporción de MONO y el índice de insaturación C18:1 n-9/C18:0. Los valores obtenidos en este estudio de los índices de calidad de la grasa PUFA/SAT y n-6/n-3 concuerdan con los encontrados por Daza *et al.* (2011a), aunque en lo que respecta al índice de calidad n-6/n-3 queremos subrayar que los valores obtenidos en este experimento están muy por encima de cuatro, valor recomendado por el Departamento Británico de Salud (Department of Health, 1994), lo que, evidentemente, se explica por el elevado contenido de ácido linoleico de los cereales incluidos en los piensos experimentales utilizados en este estudio.

En lo que concierne al efecto del sexo, otros autores han observado mayor ganancia media diaria, mayor consumo de pienso y peor índice de conversión en machos castrados que en hembras (Latorre *et al.*, 2003 y 2004). Sin embargo, como en nuestro experimento, Peinado *et al.* (2008) no encontraron efecto del sexo sobre el índice de conversión y Latorre *et al.* (2008) sobre la ganancia media diaria. El mayor espesor de grasa a nivel del *Gluteus medius* en los machos castrados que en las hembras de nuestro estudio concuerda con los resultados de Latorre *et al.* (2004). Sin embargo, contrariamente a nuestras observaciones, tales autores obtuvieron un mayor rendimiento a la canal y un menor perímetro del jamón en hembras que en machos castrados.

La literatura dispone de pocos trabajos que hayan abordado el estudio de la influencia del sexo sobre el porcentaje de GIM y el perfil de ácidos grasos de la misma. Peinado *et al.* (2008) y Alonso *et al.* (2009) encontraron que los machos castrados tenían mayor porcentaje de GIM y menor proporción de ácido linoleico que las hembras enteras, lo que concuerda con lo observado en el presente experimento.

Conclusiones

A tenor de los resultados obtenidos en este trabajo se concluye que la sustitución del pienso convencional por cebada granulada no afecta a la mayoría de las características de la canal, mejora la calidad de la carne y de la GIM de cerdos pesados destinados a la producción de Jamón de Teruel. Sin embargo, si la sustitución de pienso convencional por cebada se inicia a los 41 o 63 días de cebo (65 o 85 kg de peso) se penalizan los resultados productivos y, como consecuencia, probablemente, el coste de producción del cerdo cebado.

Aunque el número de cerdos utilizados en este experimento ha sido bajo, parece que el espesor de grasa a nivel del músculo del jamón *Gluteus medius* de los machos castrados es superior que el de las hembras, mientras que la proporción de ácido linoleico es superior en las hembras que en los machos castrados.

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento a la Asociación Turolense de Industrias Agroalimentarias (ATIA), sin cuya generosa ayuda no hubiera sido posible la realización de este estudio.

Bibliografía

- AICE (Asociación de Industrias de la Carne de España), 2010. El sector cárnico. <http://www.info@aice.es>
- Alonso V, Campo MM, Español S, Roncales P, Beltrán JA, 2009. Effect of crossbreeding and gender on meat quality and fatty acid composition in pork. *Meat Science*, 81:209-217.
- Boletín Oficial del Estado, 2005. Real Decreto 1201/2005 sobre la protección de los animales utilizados para experimentación y otros fines científicos. *Boletín Oficial del Estado*, 252:3467-34391.
- Cánovas A, Tor M, Pena RN, Dorán O, Estany J, 2009. Efecto de la selección contra grasa dorsal a grasa intramuscular constante en la expresión proteica de las enzimas ACC y SCD porcinas. AIDA, XIII Jornadas sobre Producción Animal, Zaragoza 12 y 13 de mayo de 2009, Tomo I: 78-80.
- Castell AG, Cliplef RL, Poste-Flynn LM, Butler G, 1994. Performance, carcass and pork characteristics of castrates and gilts self-fed diets differing in protein content and lysine:energy ratio. *Canadian Journal of Animal Science*, 74:519-528.
- Cava R, Andrés AI, 2001. La obtención de la materia prima de una adecuada aptitud tecnológica. Características de la grasa determinantes de la calidad del jamón: influencia de los factores genéticos y ambientales. En: *Tecnología del Jamón Ibérico* (Coordinador J. Ventanas), Ed Mundi Prensa, pp 99-129.
- Cisneros F, Ellis M, Mc Keith FK, Mc Caw J, Fernando RL, 1996. Influence of slaughter weight on growth and carcass characteristics, commercial cutting and curing yields, and meat quality of barrows and gilts from two genotypes. *Journal of Animal Science*, 74:925-933.
- Consejo Regulador Denominación de Origen Jamón de Teruel, 2011. <http://www.jamonde-teruel.com>
- Daza A, Rey AI, Olivares A, Cordero G, Toldrá F, López-Bote CJ, 2009. Physical activity-induced alterations on tissue lipid composition and lipid metabolism in fattening pigs. *Meat Science*, 81:641-646.
- Daza A, Latorre MA, López-Bote CJ, 2010. The use of barley as single ingredient in the diet provided during the finishing period may improve the meat quality of heavy pigs from PO Teruel ham (Spain). *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(3): 607-616.
- Daza A, Latorre MA, López-Bote CJ, 2011a. The effect of granulated barley as only ingredient in the growing or finishing diet on productive performance, carcass, meat and fat quality of heavy pigs. *Animal* (aceptado para publicación). N° de manuscrito: 11-606669R1.
- Daza A, Sobreviola A, Palomo A, Garcés C, Cano JL, López-Bote CJ, 2011b. Efecto de la alimentación líquida y del sexo sobre la calidad de la canal, de

- la carne y de la grasa de cerdos pesados de la Denominación de Origen Jamón de Teruel. AIDA, XVI Jornadas sobre Producción Animal, Zaragoza, 17 y 18 de mayo de 2011, Tomo II: 595-597.
- Department of Health, 1994. Nutritional aspects of the cardiovascular disease. Report of health and social subjects. n° 46 London, Her Majesty's Stationery Office.
- D' Souza DN, Pethick DW, Dunshea FR, Pluske JR, Mullan BP, 2003. Nutritional manipulation increases intramuscular fat levels in the *Longissimus dorsi* muscle of female finisher pigs Australian Journal of Agricultural Research, 54: 745-749.
- Enser M, 1975. Desaturation of stearic acid by liver and adipose tissue from obese-hyperglycemic mice. Biochemical Journal, 148: 381-385.
- FEDNA, 2010. Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos. 3ª Edición (Coordinada y Dirigida por C. de Blas, G.G Mateos y P García Rebollar) Ed Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, 502 pp.
- Folch J, Lees M, Stanly GH, 1956. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. Journal of Biological Chemistry, 266: 497-509.
- Garg ML, Thompson ABR, Clandinin MT, 1988. Effect of dietary cholesterol and/or n-3 fatty acids on lipid composition and D-5 desaturase activity in rat liver microsomes. Journal of Nutrition, 118:661-668.
- Kerr BJ, Mc Keith FK, Easter RA, 1995. Effect of performance and carcass characteristics of nursery to finisher pigs fed reduced crude protein amino acid supplemented diets. Journal of Animal Science, 80:617-627.
- Latorre MA, Medel P, Fuentetaja A, Lázaro R, Mateos GG, 2003. Effect of gender, terminal sire line and age at slaughter on performance, carcass characteristics and meat quality of heavy pigs. Animal Science, 77:33-45.
- Latorre MA, Lázaro R, Valencia DG, Medel P, Mateos GG. 2004. The effects of gender and slaughter weight on the growth performance, carcass traits, and meat quality characteristics of heavy pigs. Journal of Animal Science, 82:526-533.
- Latorre MA, García-Belenguer E, Ariño L, 2008. The effects of sex and slaughter weight on growth performance and carcass traits of pigs intended for dry-cured ham from Teruel (Spain). Journal of Animal Science, 86:1933-1942.
- López-Bote CJ, Isabel B, Ruiz J, Daza, A, 2003. Effect of vitamin E supplementation and partial substitution of poly- with monounsaturated fatty acids in pigs diets on muscle, and microsome extract α -tocopherol concentration and lipid oxidation. Archives of Animal Nutrition, 57:11-25.
- López-Bote CJ, Rey AI, Menoyo D, 2004. Efecto de la alimentación en la composición y características de la grasa. Porci, 84:34-58.
- MARM, 2010. Anuario de Estadística Agraria. <http://www.marm.es>
- Olivares A, Daza A, Rey AI, López-Bote CJ, 2009. Interactions between genotype, dietary fat saturation and vitamin A concentration on intramuscular fat content and fatty acid composition in pigs. Meat Science, 82:6-12.
- Peinado J, Medel P, Fuentetaja A, Mateos GG, 2008. Influence of castration of females on growth performance and carcass and meat quality of heavy pigs destined to the dry-cured industry. Journal of Animal Science, 86:1410-1417.
- SAS, 1999. Statistics. In: SAS user's guide. Cary NC: Statistical Analysis system Inst. Inc.
- Sprecher H, 1999. Interactions between metabolism of n-6 and n-3 fatty acids. Journal of Internal Medicine, 225:5-11.
- Wirth A, Heuch CC, Holm G, Bjorntoro G, 1980. Changes in the composition of fatty acids of total lipids in various tissues and serum due to physical training and food restriction in the rat. Scandinavian Journal of Clinical Laboratory Investigation, 40: 55-61.
- Witte DP, Ellis M, Mac Keith FK, Wilson ER, 2000. Effect of dietary lysine level and environmental temperature during the finishing phase on the intramuscular fat content of pork. Journal of Animal Science, 78: 1272-1276.

(Aceptado para publicación el 6 de marzo de 2012)

Caracterización productiva y ambiental de un sistema semi-extensivo de engorde de cerdos en condiciones de sequía en Uruguay

O. Blumetto^{*,1}, S. Calvet^{**}, F. Estellés^{**}, A. Villagrà^{***} y A.G. Torres^{**}

* Estación Experimental Las Brujas. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Ruta 48 – km 10. Rincón del Colorado, CP:90200 Canelones, Uruguay

** Instituto de Ciencia y Tecnología Animal, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera 14, CP: 46022, Valencia, España

*** Centro de Tecnología Animal CITA-IVIA. Polígono La Esperanza 100, CP: 12400, Segorbe, Castellón, España

Resumen

En Uruguay, coexisten los sistemas de producción de cerdos en confinamiento y los sistemas extensivos con acceso a pasturas. Entre ambos existen diferencias notables en cuanto a costes de producción, bienestar animal e implicaciones medioambientales. Por otro lado, los episodios de sequía provocados por el fenómeno “la Niña” pueden alterar el comportamiento normal de los sistemas pastoriles. En este trabajo se analiza la dinámica de los nutrientes y su posible efecto ambiental en dos ciclos de cebo de cerdos alojados en un sistema de producción al aire libre, denominado “a campo”. Los animales contaron con una parcela de encierro permanente donde se localizaba el refugio, comederos y bebederos. Tuvieron acceso a varias parcelas de pastoreo consecutivamente, estando cada parcela accesible durante una semana. La mayor concentración de los nutrientes provenientes de las deyecciones de los animales, se acumulan en el área circundante al refugio y los comederos, siendo menor la concentración de éstos en el área de pastoreo. Existe un leve incremento de nutrientes en las parcelas de pastoreo, entre el momento que los animales ingresan y la clausura del acceso, para luego descender con el transcurso del tiempo. Esta misma tendencia se manifestó en las emisiones de amoníaco. En las condiciones del estudio, las escasas precipitaciones provocaron bajas pérdidas de nutrientes. Se concluye que en el sistema a campo, dada la concentración de nutrientes medida en el área de pastoreo, no existen riesgos ambientales de gran magnitud, aunque sí que puede haber riesgos asociados a la parcela de encierro permanente. Algunos cambios en el diseño, podrían disminuir el riesgo de pérdidas de nutrientes desde el área de encierro permanente.

Palabras clave: Producción porcina semi-extensiva, emisión de gases, ciclo de nutrientes.

Summary

Productive and environmental characterization of a semi-extensive fattening system for fattening pigs in drought conditions in Uruguay

In Uruguay, different pig production systems coexist: confinement systems and pastoral systems. These systems differ in terms of production costs, animal welfare and environmental impacts. On the other hand, droughts caused by the phenomenon “La Niña” can change the normal behavior of pastoral systems. In

1. Autor para correspondencia: oblumetto@inia.org.uy

this article we analyze the dynamics of nutrients and their potential environmental impact of two growing cycles of pigs in an outdoor pastoral system. Animals were housed permanently in an area with a shelter, feeders and drinkers. They also could enter in several grazing areas, although each grazing area was used only during one week. Most of the nutrients coming from animal manure accumulate in the area surrounding the shelter and feeding areas, but the increase of concentrations was lower in the grazing area. A slight increase of nutrients in the grazing plots was found between the access to a grazing area and its closing one week later. After closure, nutrient concentration declined with time. The same tendency was found with ammonia emissions. In the conditions of this study, the reduced rainfall resulted in a low loss of nutrients. We conclude that in the pastoral system, due to the low nutrient concentrations in the grazing area, no large-scale environmental risks can be expected. The permanent area, however, may have environmental risks associated to nutrient deposition. Some design changes could reduce the risk of loss of nutrients from the area of permanent closure of animals.

Key words: Outdoor systems, gas emissions, nutrient cycle.

Introducción

La producción porcina en Uruguay ha venido marcada en la última década por una reducción superior al 20% en las existencias de stock porcino y por una serie de cambios estructurales según la Dirección de Estadísticas Agropecuarias (DIEA, 2007). Estos cambios suponen una tendencia a minimizar las inversiones en infraestructura, favoreciendo el desarrollo de sistemas de cría a campo como indica el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP *et al.*, 2005).

En Uruguay, un 39% de los cerdos son producidos en sistemas intensivos, mientras que el 61% restante se produce en sistemas que utilizan la producción extensiva en la totalidad o en alguna fase del ciclo (DIEA, 2007).

En los sistemas ganaderos pastoriles tradicionales de Uruguay predomina la producción de carne de vacuno basada en pasturas naturales, abarcando el 89% de la superficie ganadera total (DIEA, 2010). En estos sistemas, la alteración del ciclo de los nutrientes no parece representar un problema ambiental, dado que la incorporación de nutrientes de fuera del sistema es prácticamente inexistente. Sin embargo en otros sistemas de producción como la lechería, se utilizan pasturas sembradas con aporte de concentrados ener-

géticos o fibrosos. Esto supone un doble desafío: en primer lugar, fomentar la capacidad de reciclaje de nutrientes para mejorar la producción de las pasturas, y en segundo la reducción de las pérdidas de nutrientes que pueden producir efectos ambientales adversos (Viñas y Gutiérrez, 2008).

Los sistemas de producción de porcino en campo poseen similitudes con los de la lechería, ya que utilizan el mismo tipo de pasturas y a su vez incorporan piensos. Sin embargo, una parte sustancial de los nutrientes ingeridos por los animales, es excretada en forma de heces y de orina, suponiendo unas pérdidas entre el 50 y el 60% en el caso del nitrógeno (Canh *et al.*, 1997; Dourmad *et al.*, 1999). Así pues, estos sistemas semi-extensivos pueden ser causa de afecciones ambientales. En este sentido, la acumulación de nutrientes en los suelos puede ocasionar cambios en la composición vegetal del tapiz y la biomasa microbiana (Inouye y Tilman, 1995). Además, las pérdidas por escurrimiento superficial o lixiviación pueden contribuir a la contaminación de cursos de agua superficiales y aguas subterráneas (Williams *et al.*, 1998). Por otra parte, la acumulación de nutrientes en aguas superficiales en especial nitrógeno (N) y fósforo (P), promueve la eutrofización de los ecosistemas acuáticos, afectando la biodi-

versidad de los mismos y reduciendo la calidad de agua para su utilización (Carpenter, 2005; Kruk *et al.*, 2009).

En sistemas pastoriles se generan también contaminantes atmosféricos ligados al ciclo del nitrógeno, como consecuencia de la degradación biológica de las deyecciones de los animales (Anderson *et al.*, 2003; Webb *et al.*, 2005a). Entre estos contaminantes cabe destacar la emisión de amoníaco (NH_3), que puede causar cambios en ecosistemas naturales por procesos de acidificación y eutrofización tras su deposición (Krupa, 2003). También pueden producirse importantes cantidades de óxido nitroso (N_2O), que es un gas con un elevado potencial efecto invernadero (IPCC, 2006). Sin embargo, la gestión del estiércol en sistemas pastoriles genera bajas cantidades de metano (CH_4) dado que en las pasturas normalmente no se dan las condiciones de anaerobiosis necesarias para la producción de este gas (IPCC, 2006).

En lo que respecta a los impactos ambientales de la producción porcina, han sido estudiados más profundamente en sistemas confinados intensivos en Europa y Estados Unidos, donde las exigencias legales de carácter ambiental son cada vez más estrictas (Melse *et al.*, 2009; Milne, 2005). Sin embargo, considerando las importantes diferencias entre los sistemas de producción porcina confinados y a campo, es esperable que su impacto potencial sobre el medio ambiente sea también desigual. Más concretamente, existe escasa información sobre el grado de aprovechamiento que los animales hacen de las pasturas, y tampoco se conocen los cambios que estos sistemas originan en los suelos y de forma derivada sobre las emisiones de amoníaco y el escurrimiento superficial o profundo.

Finalmente, debe considerarse que los sistemas productivos de base pastoril, son alta-

mente dependientes de las condiciones climáticas, estando fuertemente influidos tanto en su productividad como en la calidad de las pasturas, principalmente como consecuencia de la disponibilidad de agua y la temperatura. En la producción comercial en Uruguay no se utiliza el riego de pasturas y por tanto la disponibilidad de agua depende directamente de las precipitaciones y de la capacidad de retención de agua por parte del suelo. Si bien la pluviometría media para los meses de primavera supera los 120 mm mensuales (MET URUGUAY, 2009), el fenómeno meteorológico "El Niño / Southern Oscillation" (ENSO), con sus fases "El Niño" y "La Niña" puede provocar cíclicamente, períodos que se apartan de las condiciones promedio (Ropelewski and Halpert, 1987). El fenómeno de "La Niña" corresponde a un enfriamiento de las capas superficiales en el océano Pacífico, el cual provoca una reducción de las precipitaciones en el Cono sur de Sudamérica. Se extiende en términos promedio de 9 a 12 meses y ocasionalmente hasta 2 años, con un período de recurrencia de entre 2 y 7 años (IRI, 2011). En este sentido, en la región preocupa el desarrollo de éste fenómeno ya que provoca condiciones de precipitaciones por debajo de lo normal, causando períodos de marcado déficit hídrico con relativa frecuencia. Esto puede afectar no solo los aspectos productivos, sino también a la dinámica de los nutrientes en el sistema.

Así pues, el presente trabajo tiene como objetivo caracterizar un sistema de producción a campo habitual en Uruguay desde el punto de vista productivo y ambiental, en condiciones de sequía. En particular, se pretende cuantificar los principales impactos esperables de la producción porcina a campo sobre el suelo, el agua y el aire, tomando como referencia el sistema tradicional en confinamiento.

Materiales y métodos

Localización

Los ensayos se realizaron en la Estación Experimental Las Brujas del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) de Uruguay. El período experimental incluyó dos pruebas correspondientes a un cebo de cerdos cada una, y duró desde el 23 de octubre de 2007 al 16 de enero de 2008 (primera prueba) y del 23 de septiembre al 16 de diciembre de 2008 (segunda prueba). Aunque el experimento estaba inicialmente planteado para realizar una prueba en condiciones normales, los resultados de precipitación condicionaron el desarrollo de la pastura. Esto se debió a la coincidencia de estos periodos con la ocurrencia del fenómeno meteorológico de "La Niña", que afectó las primaveras de 2007 y 2008 (INIA-GRAS, 2009)

Diseño Experimental

Se realizaron dos experimentos, uno en 2007 y el otro en 2008. En el primero de ellos se utilizaron 96 cerdos de recría (48 hembras y 48 machos castrados) de la línea genética comercial Delta Híbrido, de 12 semanas de edad y un peso medio de $41,7 \pm 5,81$ kg al inicio del experimento. Todos los animales fueron identificados individualmente y distribuidos al azar en 8 grupos de 12 animales (6 hembras y 6 machos castrados por grupo). El ensayo tuvo una duración de 12 semanas. Cuatro grupos fueron asignados a un sistema de engorde tradicional en confinamiento con ventilación natural (T1) y los otros cuatro a un sistema de producción a campo con acceso a pasturas (T2).

El sistema T1 fue utilizado como referencia en cuanto a la utilización alimenticia y crecimiento en un sistema de engorde convencional.

En el segundo experimento (T2B) se realizó una réplica del sistema de campo, utilizando 48 cerdos (24 hembras y 24 machos castrados)

de 13 semanas de edad con un peso inicial de $50,3 \pm 4,52$ kg y siguiendo el mismo diseño experimental que en T2 de la primera prueba.

Desde el punto de vista de crecimiento y utilización de nutrientes fueron comparados los tratamientos T1 y T2 de la primera experiencia, mientras que para la evolución de los nutrientes en el suelo se realizó la comparación entre años (T2 del primer experimento y T2B del segundo).

Alojamiento y alimentación

En el tratamiento T1, los animales fueron alojados en una nave de ventilación natural, en corrales de 4x3 m, con un 75 % de la superficie de suelo de hormigón y el resto cubierto con slats plásticos. Cada corral poseía dos bebederos tipo chupete y un comedero tipo tolva con 1,2 m de frente y 100 kg de capacidad. El purín producido se almacenó en las fosas ubicadas bajo los slats, que eran vaciadas semanalmente en una balsa anaerobia. Antes de cada vaciado se tomó muestra del purín almacenado durante esa semana para su análisis químico y se midió el volumen de purín generado según la altura alcanzada en la fosa.

En el sistema semiextensivo (T2 y T2B), los animales fueron alojados de forma permanente en una parcela de campo de 20 x 10 m cada una (Figura 1). La parcela estaba delimitada por una cerca eléctrica. Dentro de esta parcela los animales disponían de un refugio de madera de 12 m², tres comederos de hormigón y dos bebederos tipo chupete. Adicionalmente podían acceder en forma libre a través de un corredor a diferentes parcelas de pastoreo, con una superficie de 170 m² y consistente en una pradera tradicional de primer año (T2) y segundo año (T2B), con una mezcla forrajera de trébol blanco, trébol rojo y raigrás. Cada semana una nueva parcela era asignada y las parcelas cerradas luego de la semana de pastoreo, no volvieron a ser



Figura 1. Esquema de distribución y orden de las parcelas de pastoreo de cada grupo en el sistema semiextensivo de engorde de cerdos, para ambos experimentos (T2 y T2B).

Figure 1. Distribution and order of grazing areas for each group in the semi-extensive pig fattening system for both experiments (T2 and T2B).

pastoreadas a lo largo del ciclo de engorde. El orden de asignación fue el mismo para todos los grupos, comenzando por la parcela 1 en la segunda semana de experimento y siguiendo el orden que se indica en la Figura 1.

El suelo donde se realizaron los experimentos responde a una textura franco limosa, con un contenido de 16% arcillas, 20% arena y 64% limo. Se determinó una densidad aparente promedio de 1,22 g.cm³ y una capacidad de retención de agua de 0,44 m³/m³.

Todos los grupos fueron alimentados con un pienso comercial para cerdos en engorde, a libre disponibilidad. El pienso utilizado en el primer experimento (T1 y T2) tuvo una energía digestible estimada (ED) de 3196 Kcal/kg, mientras que para T2B fue de 3110 Kcal/kg (Noblet y Pérez, 1993). La composición botánica de la mezcla forrajera en T2 fue de 37±10% trébol, 57±11% raigrás y 6±7% otros, mientras que para T2B las proporciones de la mezcla fueron de 31±8 % de trébol. 67±8 % raigrás y 2,0±2,0 otros. Se tomaron

muestras de pienso y pastura, a las cuales se les realizó análisis de composición química. En la Tabla 1 se indica la el contenido de piensos y forrajes en proteína bruta (PB), fibra ácido detergente (FAD) y fibra neutro detergente (FND).

Medidas de producción

Se registró el peso vivo de forma individual y el consumo de pienso y agua para cada grupo, cada semana, desde la entrada de los animales hasta el final del experimento. Para T2 y T2B, el consumo de pastura fue estimado por diferencia entre la disponibilidad al inicio y al final del periodo de pastoreo, por el método estándar (Moliterno, 1986).

Registros ambientales

Al inicio del primer experimento se tomó una muestra general de suelo para determinar sus características físicas mediante pro-

Tabla 1. Contenido en proteína bruta (PB), fibra ácido detergente (FAD) y fibra neutro detergente (FND) de piensos y forrajes utilizados, expresada como % sobre materia seca

Table 1. Crude protein content (PB), acid detergent fiber (FAD) and neutral detergent fiber (FND) of concentrates and forages, expressed as % of dry matter

	Primera prueba (T1 y T2)		Segunda prueba (T2B)	
	Concentrado	Pradera	Concentrado	Pradera
PB	14,9	8,3	15,2	8,0
FAD	13,2	46,9	13,0	51,1
FND	34	69,4	32,5	71,0

cedimientos estándar: textura (USDA, 1972), densidad aparente (SSSA, 1986a) y capacidad de retención de agua (SSSA, 1986b). En T2 para el primer ensayo y T2B para el segundo, se determinó la evolución del estado del suelo como consecuencia del pastoreo. Para ello, en el encierro permanente se tomaron muestras de suelo cada 15 días durante todo el experimento, a 25 cm de profundidad, con 9 puntos de muestreo en cada caso. De igual forma, en cada parcela de pastoreo se tomaron muestras de suelo en cuatro momentos: antes del pastoreo (entrada), a la salida de los animales (cierre de la parcela), a los 15 días y a los 30 días después del cierre de la parcela. Para completar la información obtenida, en T2B se decidió agregar dos muestreos adicionales, a los 45 y a los 60 días después del cierre. Las muestras fueron analizadas en laboratorio determinándose el nitrógeno total (N), nitratos (NO_3), nitrógeno amoniacal (NH_4^+), fósforo total por método Bray I (P), potencial de mineralización de nitrógeno (PMN), calcio (Ca), potasio (K), sodio (Na) acidez titulable (AT), capacidad de intercambio catiónico (CIC), bases totales (BT) y porcentaje de saturación de bases (PSB).

Para analizar el escurrimiento superficial de agua ante la ocurrencia de precipitaciones, en tres de los cuatro grupos se instalaron sistemas para la medición de escurrimiento su-

perficial, con la metodología descrita por (Franklin *et al.*, 2001). Este sistema consta de una microcuenca cerrada y un sistema de recogida para el muestreo de agua, medición de volumen y posterior análisis químico. El sistema se instaló dentro de la tercera parcela de pastoreo de cada grupo, una vez se produjo el cierre de la misma. Además se montó un sistema complementario para medir el escurrimiento superficial de agua de un tercio de la parcela de encierro permanente. Para ello se realizó la canalización de los bordes de la superficie del área a evaluar y en la parte más baja se construyó un colector con un depósito enterrado con capacidad para $1,2 \text{ m}^3$. Posteriormente a cada evento de lluvia se midió el volumen y se tomaron muestras para enviar a laboratorio, donde se determinó concentración de N y P.

Para la determinación de emisiones de amoníaco se utilizaron cámaras estáticas de polimetil metacrilato (PMMA), de dimensiones $60 \times 40 \times 40 \text{ cm}$ (largo x ancho x alto). Dentro de la cámara se instaló una bomba de aire, marca Shark modelo RS-610 (caudal nominal 140 L hora^{-1}), en cuya salida se colocó un tubo de silicona, con una piedra porosa en el extremo que burbujeaba dentro de un recipiente con una solución de ácido bórico 0.2 M . Cada muestra se tomó tras 24 horas de exposición, en una posición fija dentro de

cada parcela. El amoníaco retenido en cada caso se determinó en laboratorio mediante titulación con ácido sulfúrico, obteniéndose posteriormente el ratio de emisión por unidad de superficie.

Análisis estadísticos

Para el tratamiento de datos se utilizó el paquete estadístico SAS 9.2 (SAS, 2008). Los datos de ganancia de consumo de pienso, consumo de pastura y eficiencia de conversión, fueron analizados mediante un análisis de varianza con el procedimiento GLM, para comprobar diferencias entre tratamientos y grupos utilizando el siguiente modelo, donde Y_{ijk} es la variable independiente, μ es la media poblacional, T_i el efecto del tratamiento (T1 y T2), G_j es el efecto del grupo y ε_{ijk} el error residual.

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + G_j + \varepsilon_{ijk}$$

La comparación de concentración de nutrientes en el suelo, entre la situación previa al pastoreo y el momento de cierre de las parcelas, fue analizada mediante un análisis de varianza con el procedimiento GLM con el modelo siguiente, donde Y_{ijk} es la concentración del nutriente, T_i el efecto del tratamiento (T2 y T2b), M_j es el efecto del momento (antes o después del pastoreo), G_m el efecto del grupo y ε_{ijk} el error residual.

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + M_j + G_m + \varepsilon_{ijk}$$

En cuanto a la evolución de la concentración de nutrientes en el suelo de las parcelas, se realizaron regresiones con el procedimiento REG utilizando el modelo siguiente, donde, "y" es la concentración del nutriente en el suelo, "A" el año expresado como variable cualitativa (A=0 para T2 y A=1 para T2B) y "t" los días transcurridos desde el cierre.

$$y = \beta_0 + \beta_1 A + (\beta_2 + \beta_3 A) t + \varepsilon,$$

Finalmente, la evolución de las emisiones de amoníaco desde el cierre de las parcelas de

pastoreo se analizó mediante el procedimiento REG siguiendo el siguiente modelo, donde E_{NH_3} es la cantidad de NH_3 emitido y "t" el tiempo (en días) transcurrido desde el cierre. $E_{NH_3} = \beta_0 + \beta_1 \cdot (1/t) + \varepsilon$.

Resultados

Crecimiento, consumo y eficiencia de utilización alimenticia

Para T1 y T2, los valores medios obtenidos para la ganancia de peso vivo, el consumo de pienso y pastura y el índice de conversión alimenticia en el total del ciclo, así como la ingesta promedio de N y P pueden observarse en la Tabla 2. No se observaron diferencias significativas en los consumos de MS, N o P entre ambos tratamientos ($p > 0,05$). No obstante la ganancia de peso y la eficiencia de conversión alimenticia fueron mejores en los animales del tratamiento T1 ($p < 0,001$). En todos los casos, el efecto grupo no fue significativo ($p > 0,05$).

Registros ambientales

Purines producidos en sistema confinado

Los grupos alojados en confinamiento produjeron en promedio, durante todo el experimento, 5.788 ± 729 L de purín por grupo (media $\pm$ desviación estándar), con una excreción total de 2.666 ± 116 g de P y 18.970 ± 1.252 g de N por grupo. La evolución del purín producido por animal y por semana, así como las cantidades de nutrientes (N y P) en el purín recogido, se indican en la Figura 2.

Sistema a campo: evolución de las propiedades del suelo

Las concentraciones medias de nutrientes en las parcelas de pastoreo, antes de la entrada de los animales y después del cierre se pre-

Tabla 2. Consumos medios de pienso, pastura, nitrógeno y fósforo, ganancia media de peso vivo, y eficiencia de conversión alimenticia de cerdos en engorde intensivo (T1) y semiextensivo (T2)
Table 2. Average live weight gain, feed intake, feed conversion rate and nutrient (nitrogen and phosphorous) consumption of pig in intensive (T1) and semi-extensive (T2) fattening systems

	T1	T2	p
Ganancia media de peso para todo el engorde (kg)	67,8	61,5	***
Consumo medio de pienso por grupo (kg MS)	3097,4	3173,8	NS
Consumo medio de pastura por grupo (kg MS)	–	259,5	–
Consumo medio de alimento total por grupo (kg MS)	3097,4	3433,2	*
Conversión alimenticia (kg MS pienso /kg GPV*)	3,95	4,30	***
Consumo medio de nitrógeno proveniente de la pastura (Kg)	–	5,4	–
Consumo medio de fósforo proveniente de la pastura (Kg)	–	0,8	–
Consumo medio de nitrógeno proveniente del pienso (Kg)	79,3	81,3	NS
Consumo medio de fósforo proveniente de la pienso (Kg)	18,6	19,0	NS
Consumo medio de nitrógeno proveniente de dieta total (Kg)	79,3	87,2	NS
Consumo medio de fósforo proveniente de dieta total (Kg)	185,8	198,4	NS

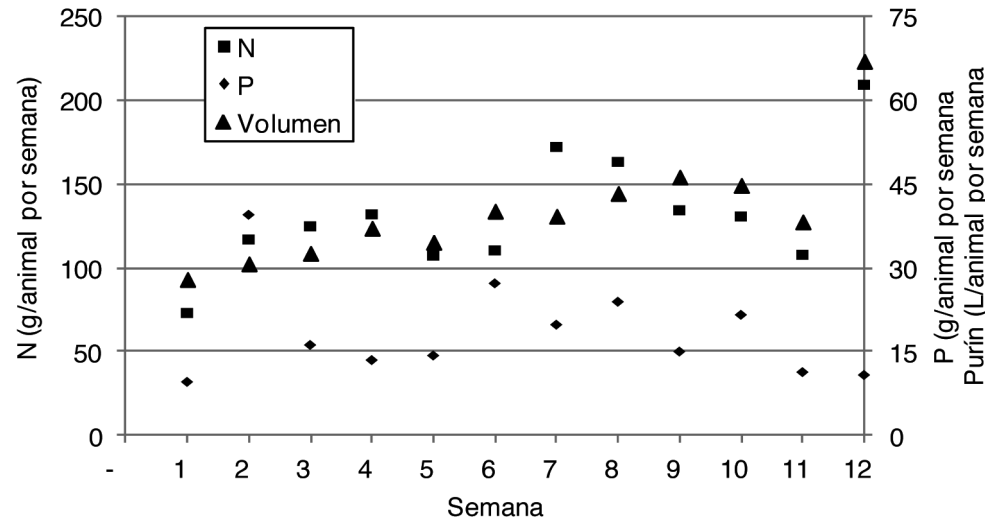


Figura 2. Producción semanal de purín y evolución de las cantidades de N y P presentes en el purín producido en el sistema intensivo de engorde (T1).
Figure 2. Weekly production of slurry and evolution of total amount of N and P excreted in the intensive fattening system (T1).

sentan en la Tabla 3. No se encontraron diferencias significativas en la concentración de las bases y fósforo para ambos momentos ($p > 0,05$). Por el contrario, la concentración de amoníaco se incrementó significativamente después del cierre en ambas pruebas ($p < 0,05$). En cambio, el contenido en nitrógeno total y nitratos tuvieron un comportamiento diferente en cada año: mientras que el contenido en N aumentó significativamente ($p < 0,001$) en la primera prueba (T2), éste se mantuvo estable en la segunda (T2B). La situación inversa se constató para los nitratos, incrementándose significativamente ($p < 0,01$) después del cierre en T2B pero no en T2.

Las regresiones realizadas para determinar el efecto del tiempo transcurrido tras el cierre de las parcelas de pastoreo sobre la concentración de nutrientes dieron como resultado unas pendientes muy bajas (Tabla 4), indicando una baja dependencia del tiempo transcurrido tras el cierre. Los nitratos y amoníaco, presentaron una tendencia creciente a lo largo del tiempo para la segunda prueba, pero por el contrario no se encontraron variaciones para 2007 dentro del lapso estudiado. En todos los casos se constató una variabilidad muy alta de los valores registrados en las determinaciones de nutrientes en el suelo.

En el caso del P se observa una tendencia diferente en cada año, mientras que en T2 las concentraciones descienden, en T2B tienden a incrementarse con el transcurso de los días.

En el caso de las parcelas de encierro permanente, se observa una situación similar en cuanto a las variaciones de las bases en el suelo, siendo estas con pendientes positivas, pero muy próximas a 0 (Tabla 5). En el caso de NO_3 y NH_4 , existe una clara tendencia ascendente a lo largo del período de engorde para ambos años.

Sistema a campo: escorrentía superficial y profunda

En los últimos 15 días del ciclo de engorde en la primera prueba (T2), se produjeron cuatro eventos de lluvia, de 19,4; 12,2; 24,6 y 33,8 L/m^2 respectivamente. Estas precipitaciones provocaron pérdidas de nutrientes del suelo en las parcelas de encierro, que se reflejaron en una reducción significativa de los valores de nutriente registrados con excepción de Mg y Na, entre las muestras tomadas los días 79 y 94 del ciclo, como puede observarse en la Tabla 6.

Las muestras recogidas en los sistemas de medición de escurrimiento en los encierros y el sistema de bandejas de escurrimiento de las parcelas de pastoreo, se encuentran resumidos en la Tabla 7.

En la segunda prueba (T2B) no se produjeron precipitaciones de cuantía suficiente como para registrar escorrentía superficial o infiltración profunda.

Sistema a campo: emisiones de NH_3

Las emisiones de amoníaco medidas para las parcelas de pastoreo muestran un aumento significativo ($p < 0,001$) entre la situación previa al pastoreo ($8,8 \pm 5,3 \text{ mg NH}_3/\text{m}^2/\text{día}$) y tras el cierre ($79,6 \pm 4,6 \text{ mg NH}_3/\text{m}^2/\text{día}$). La evolución de las emisiones después del cierre fue desigual en los dos ciclos estudiados, según se muestra en la Figura 3. En el primer ciclo (T2A), la evolución de las emisiones se ajustó al modelo propuesto, según la ecuación:

$$y = 104,2 + 91,7 (1/t) \quad p = 0,0014; R^2 = 0,997$$

Atendiendo a resultados en los días muestreados (1, 5, 15 y 30 días tras el cierre) se consideró conveniente realizar mediciones más frecuentes en el segundo ciclo, con el objetivo de caracterizar con más detalle esta variación de

Tabla 3. Concentración de nutrientes en el suelo de las parcelas del sistema semiextensivo, antes del pastoreo y una vez producido el cierre una semana después
Table 3. Nutrient concentration in the soil of grazing areas in the semi-extensive system, before grazing and one week after closure

Año de prueba	Momento	N %	NO ₃ mg/Kg	NH ₄ ⁺ mg/Kg	PMN mg/Kg	P µg/g	K meq/100 g	Mg meq/100 g	Ca meq/100 g	Na meq/100 g	Bases total
2007	antes	0,22	16,7	14,7	70,0	29,7	0,85	4,98	12,9	0,40	19,09
	cierre	0,28	19,4	22,2	106,1	27,7	0,85	5,10	12,4	0,37	18,69
p		***	NS	*	***	NS	NS	NS	NS	NS	NS
2008	antes	0,26	19,1	20,0	95,5	29,1	0,89	5,58	13,29	0,39	20,15
	cierre	0,25	29,3	34,9	76,8	30,6	0,91	5,78	13,29	0,41	20,39
p		NS	**	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Tabla 4. Parámetros de las regresiones de la concentración de nutrientes en el suelo, en función del los días transcurridos desde el cierre de las parcelas de pastoreo (t), utilizando año (A) como variable dummy
Table 4. Regression parameters of nutrient concentration in the soil, as a function of time (days) after closing the grazing areas (t), using the year of study (A) as dummy variable

Nutriente	Unidades	β_0	p	β_1	p	β_2	p	β_3	p	R ²	P modelo
N	%	0,282	***	-0,035	***	-0,001	**	0,001	**	0,0678	***
NO ₃	µg/g	18,713	***	5,310	NS	0,182	NS	0,383	NS	0,1988	***
NH ₄	µg/g	22,075	***	10,673	NS	-0,089	NS	0,551	NS	0,1596	***
PMN	mg/Kg	113,400	***	-23,975	NS	-51,018	NS	3,068	NS	0,0014	NS
P	µg/g	27,520	***	1,364	NS	-0,181	NS	0,483	**	0,1722	***
K	meq/100 g	0,844	***	0,034	NS	-0,002	NS	0,009	*	0,1636	***
Na	meq/100 g	0,364	***	0,008	NS	0,0001	NS	0,002	NS	0,0978	***
Mg	meq/100 g	5,072	***	0,792	**	0,0004	NS	-0,015	NS	0,0454	*
Ca	meq/100 g	12,436	***	1,273	**	-0,011	NS	0,006	NS	0,0757	***
Bases totales	meq/100 g	18,712	***	2,107	**	-0,013	NS	-0,023	NS	0,0655	***

Tabla 5. Parámetros de las regresiones de la concentración de nutrientes en el suelo, en función del los días transcurridos desde el cierre (t) de las parcelas de encierro permanente, utilizando año (A) como variable dummy
 Table 5. Regression parameters of nutrient concentration in the soil, as a function of time (days) after closing of permanent parcels (t), using the year of study (A) as dummy variable

Nutriente	Unidades	β_0	p	β_1	p	β_2	p	β_3	p	R ²	P modelo
N	%	0,247	***	0,034	NS	0,002	***	-0,002	***	0,4209	***
NO ₃	µg/g	-15,317	NS	102,039	***	1,559	***	-1,448	***	0,4421	***
NH ₄	µg/g	4,135	NS	0,583	NS	1,650	***	-1,097	**	0,4229	***
PMN	mg/Kg	47,379	NS	-41,935	NS	2,538	NS	-0,592	NS	0,1058	NS
P	µg/g	26,254	*	37,714	**	0,435	NS	0,494	NS	0,146	*
K	meq/100 g	0,659	*	0,813	*	0,015	**	-0,015	*	0,1501	*
Na	meq/100 g	0,337	***	0,227	**	0,005	***	-0,003	*	0,3621	***
Mg	meq/100 g	4,543	***	1,883	***	0,019	*	-0,026	*	0,1910	**
Ca	meq/100 g	13,601	***	0,437	NS	-0,008	NS	-0,011	NS	0,0243	NS
Bases totales	meq/100 g	19,139	***	3,360	NS	0,030	NS	-0,033	NS	0,0614	NS

Tabla 6. Concentración de nutrientes en el suelo de las parcelas de encierro permanente en el día 79 y 94 del ciclo de engorde, para la prueba realizada en 2007(T2)
 Table 6. Concentration of nutrients in the soil in the permanent enclosure parcels in the days 79 and 94 of the fattening period for the first experiment (T2)

Año de prueba	Momento	N %	NO ₃ mg/Kg	NH ₄ ⁺ mg/Kg	PMN mg/Kg	P µg/g	K meq/100 g	Mg meq/100 g	Ca meq/100 g	Na meq/100 g	Bases total
2007	Día 79	0,4	130,8	139,9	170,8	66,8	2,1	5,8	13,5	0,7	22,1
	Día 94	0,3	59,3	61,5	112,8	30,5	1,2	5,1	12,8	0,5	19,6
p		*	*	*	*	*	*	NS	**	NS	*

Tabla 7. Precipitación y escurrimiento superficial de agua y nutrientes (N y P) para los eventos de lluvia producidos dentro del período experimental en 2007

Table 7. Precipitation and run-off of water and nutrients (N and P) for the rain events happened in the experimental period in 2007

Día del ciclo	Precipitación L/m ²	Muestra	Cantidad de escurrimiento L / m ²	Escurrimiento de P mg/m ²	Escurrimiento de N mg/m ²
68	19,4	Parcelas pastoreo	1,4	2,2	240,9
		Encierro	0,4	1,2	128,3
72	12,2	Parcelas pastoreo	0,3	0,3	46,1
		Encierro	1,0	1,2	157,2
73	24,6	Parcelas pastoreo	1,0	0,9	108,4
		Encierro	1,4	2,1	305,4
81	33,8	Parcelas pastoreo	1,0	1,7	51,7
		Encierro	3,7	33,6	408,9

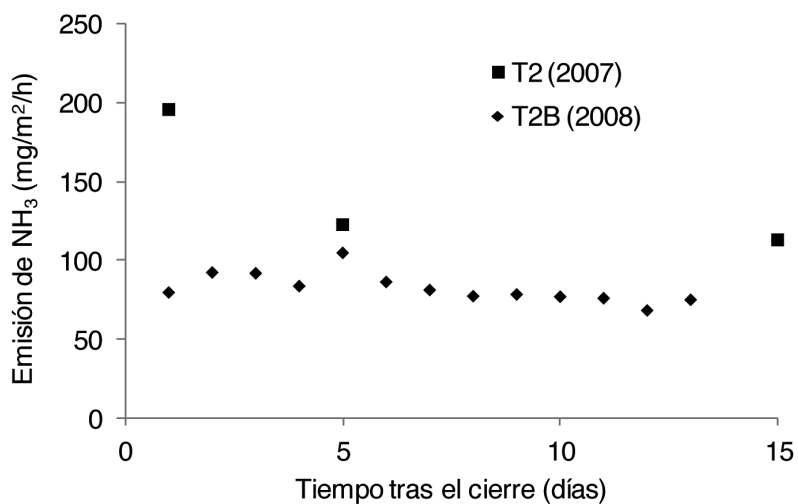


Figura 3. Evolución de la emisión de NH₃ tras el cierre de las parcelas de pastoreo, en el sistema semiextensivo de engorde de cerdos en ambos experimentos (T2 y T2B).

Figure 3. Evolution of the NH₃ emission as a function of time (days) after closure of grazing parcels in the semi-extensive pig fattening system for both experiments (T2 and T2B).

las emisiones en las dos semanas tras el cierre del acceso a la parcela. Sin embargo, en el segundo ciclo la evolución de las emisiones fue completamente distinta, tal como se observa en la Figura 3. Así, el modelo de emisión propuesto resultó no significativo ($p > 0,05$), de forma que no pudo confirmarse la pauta de evolución de emisiones identificada el año anterior. Las emisiones de las parcelas de encierro desde la salida de los animales (fin del ciclo) hasta los 52 días posteriores, mostraron variaciones erráticas entre días, con una media de $75,7 \pm 23,8 \text{ mg NH}_3/\text{m}^2/\text{día}$.

Discusión

Consumo y eficiencia de utilización alimenticia

El pienso fue el componente principal en la alimentación de los animales en ambos casos (T1 y T2) y su consumo no difirió entre los animales confinados y los que tenían acceso a pastura. El consumo de pastura, tuvo poca importancia en el total de MS ingerida y no llegó a provocar una reducción en la ingesta de pienso como la obtenida por Bauzá *et al.* (2005). En este sentido, se debe considerar que la libre disponibilidad de pienso puede influir en el comportamiento alimentario de los cerdos. Así, Barlocco (2007) obtuvo un aprovechamiento de la pastura muy superior al de este estudio en condiciones de pienso restringido, alcanzando así un compromiso económico favorable.

La baja calidad del forraje es también un elemento a considerar en la reducción del consumo, pudiendo ser responsable de la baja importancia del mismo en el total de la MS ingerida, distando mucho de constituir hasta el 30% de la MS total como han determinado otros autores (Arenare *et al.*, 1997; Azzarini *et al.*, 1973; Bauzá *et al.*, 2005). Las pasturas utilizadas para engorde de cerdos normal-

mente realizan un aporte energético del orden de las 2.8 Mcal de ED y 15 a 22% de proteína digestible por kg de MS. (Bauzá, 2005). Según este autor la digestibilidad de la proteína en general es alta en los forrajes tiernos, hasta que el cultivo madura y aumenta la lignificación de la planta, reduciendo su aprovechamiento por los cerdos. La digestibilidad de las hojas puede variar de 18% a 84% con una media de 54%, la cual es causada por factores genéticos, ambientales, nutricionales y estado fenológico de la planta (Trujillo y Uriarte, 2004).

El severo déficit hídrico provocó una rápida senescencia de las pasturas reduciendo su disponibilidad y calidad, lo cual pueden haber influido tanto en la reducción del consumo como en el aprovechamiento del alimento.

El aumento en el índice de conversión alimenticia de los animales en el sistema de campo responde a una menor ganancia de peso para un mismo consumo de pienso, lo cual podría corresponderse con la mayor actividad de los animales en pastoreo (Edwards, 2005). Sin embargo, resulta difícil aislar otros componentes del sistema que podrían estar afectando al índice de conversión, como es el caso del ambiente (Hansen *et al.*, 2006; Bee *et al.*, 2004). En términos prácticos, los cerdos parecen haber cubierto sus necesidades alimenticias en base al consumo de pienso, siendo cuantitativamente poco importante el consumo de pastura. Estos resultados sugieren que, para condiciones de marcado estrés hídrico y libre disponibilidad de concentrado, los animales consumen la pastura de forma complementaria como parte de su comportamiento exploratorio, pero no en suficiente cantidad como para reducir el consumo de pienso.

Registros ambientales

En general, los valores obtenidos de nutrientes en suelo antes del ingreso de los animales a las parcelas de pastoreo son concordantes

con los esperables para este tipo de suelo según Duran y García-Préchac, 2007). Sin embargo las concentraciones de NH_4^+ y NO_3^- son menores a lo esperable en suelos de pasturas con leguminosas (Carriquiry *et al.*, 1999; Sawchik, 2001), que pudo ser causado por la reducción balance neto de nitrógeno entre la fijación biológica y el consumo de las plantas forrajeras dado el elevado porcentaje de gramineas (57% en 2007 y 67% en 2008), en comparación con el 20 al 40% habitualmente manejado en este tipo de pasturas (Risso, 1997).

Tras una semana de período de pastoreo la concentración de N total en el suelo se incrementó como era esperable por la contribución de las deyecciones de los cerdos. Sin embargo, ese período de pastoreo no fue suficiente para incrementar significativamente la concentración de NO_3^- , quedando el nitrógeno excretado principalmente en forma orgánica. Este hecho pudo estar relacionado con que el aporte provenía mayoritariamente de las heces y no de la orina, dado que la deposición de orina en los cerdos se da en las cercanías de las áreas de descanso, mientras que la deposición de heces se tiende a producir en las zonas de actividad (Quintern y Sundrum, 2006). Así, cabe esperar que la cantidad de deyecciones en el área de pastoreo fuera muy baja, tal y como describen Salomon *et al.* (2007). Estos autores encontraron que sólo un 5% de los nutrientes excretados eran depositados en el área de pastoreo, siendo la mayor parte excretado en las zonas de refugio, comederos y bebederos.

En el caso del fósforo, la estabilidad en las concentraciones podría derivar de la misma situación, en la cual el contenido de las heces no fue transferido al suelo dado que el lapso de 7 días de pastoreo pudo no ser suficiente para la degradación en condiciones de baja humedad, ya que era observable la desecación de éstas y su permanencia en la superficie. Los modelos de regresión muestran que en plazos mayores, en T2B la concentración de fósforo

en el suelo comienza a aumentar hacia el día 60 después del cierre de las parcelas. Sin embargo, en T2 en las mediciones hechas del día 0 al 30 muestran una leve tendencia descendente que podría explicarse mediante un balance de escasa incorporación de fósforo de las heces y una mayor extracción de este nutriente por la pastura. Así, la alta variabilidad de las muestras, y la característica del fósforo de ser muy poco móvil en la solución del suelo y rápidamente retenido por las arcillas y la materia orgánica (Duran y García-Préchac, 2007), dificultan poder evaluar la tasa de incorporación de este nutriente al suelo.

Pese a que la movilidad del nitrógeno mineralizado es alta en la solución del suelo, la tendencia de las regresiones obtenidas para las concentraciones de NH_4^+ y NO_3^- , muestran tendencia a mantenerse estables en T2, por lo que refuerza la hipótesis de muy escasa degradación de las heces y la incorporación al suelo de los nutrientes. En las condiciones estudiadas, la lenta tasa de liberación de los nutrientes es una característica positiva para evitar las pérdidas por lixiviación o escurrimiento superficial, pero esta situación podría diferir en condiciones más húmedas que las estudiadas en este trabajo.

En el área de encierro permanente, donde se concentra la mayor parte de la actividad de los animales y se acumulan las deyecciones a lo largo de todo el ciclo, la concentración de nutrientes se incrementó con el paso del tiempo, lo cual era esperable por el continuo aporte de deyecciones. Sin embargo el caso de los nitratos, en T2B los valores son elevados desde los primeros días y se mantienen con una tendencia estable durante el ciclo, aunque con elevada variabilidad. Los elevados valores iniciales se debieron probablemente a que esa misma parcela había alojado a los cerdos de del anterior estudio (T2) un año antes.

La escasez de precipitaciones en los dos períodos experimentales pudo condicionar las pérdidas de nutrientes del sistema a aquellas

que pudieran producirse por volatilización. Sin embargo, en el primer experimento (T2) los eventos de lluvia registrados en los últimos días del período de engorde produjeron una reducción en la concentración de nutrientes. Respecto a esa reducción existen evidencias de que las pérdidas se produjeron tanto por lixiviación como por escurrimiento superficial. El escurrimiento superficial y su arrastre de nutrientes queda demostrado por las muestras recogidas en los sistemas de medición de escurrimiento. Aunque no se determinó la pérdida de nutrientes por lixiviación, las características de las precipitaciones y del perfil del suelo evidencian que su cuantía fue escasa. En efecto, la presencia de un horizonte "B textural" con alta concentración de arcillas y muy baja permeabilidad hacen que las pérdidas de nutrientes por escurrimiento profundo sean muy limitadas (Duran and García-Préchac, 2007). En las condiciones estudiadas la sequía provocó una paralización en el crecimiento de las pasturas, con producciones de 535 y 402 kg /ha para T2 y T2B, respectivamente, mientras que una producción promedio se estima en unos 3.600 kg/ha durante el mismo período. Por tanto cabe esperar que la retención de nutrientes en los tejidos vegetales no fuera un mecanismo importante en ese período. Según Quintern y Sundrum, (2006) la acumulación de nutrientes en el suelo es uno de los principales riesgos ecológicos de éste tipo de sistemas, no obstante ello dependerá en gran medida de la magnitud de la entrada de nutrientes al sistema y la duración de la restricción hídrica.

En lo que respecta a las pérdidas por emisiones de amoníaco en las parcelas de pastoreo, existe un aumento sustancial comparando la situación previa y posterior a la semana de pastoreo. La volatilización de amoníaco depende del total de nitrógeno amoniacal aportado (Webb *et al.*, 2005b), que en este caso proviene del nitrógeno orgánico rápidamente degradable, fundamentalmente

proveniente de la orina. Los valores absolutos registrados están muy por debajo de los reportados por otros autores (Ivanova-Peneva *et al.*, 2008; Basset-Mens *et al.*, 2007) pero las cantidades emitidas son muy dependientes de la intensidad del pastoreo (que en este caso fue baja) y de las diferentes condiciones ambientales, especialmente la humedad del suelo (Misselbrook *et al.*, 2007, Mkhabela *et al.*, 2009). El método utilizado para su estimación podría a su vez estar determinando también algunas diferencias, ya que las cámaras estáticas pueden subestimar las emisiones y tienen alta sensibilidad a la variabilidad espacial de las mismas.

La gran variabilidad que se observa entre las mediciones, sugiere que la emisión no es uniforme en toda la superficie como fuera reportado por Watson *et al.* (2003) y Sommer *et al.* (2001). Esta disparidad, seguramente esté muy influida por la distribución de las deyecciones y principalmente la existencia o no de deposiciones de orina en la zona donde se colocaba la cámara de medida.

A pesar de ello es posible determinar una tendencia general de las emisiones de NH_3 a ser más altas en los primeros días posteriores al pastoreo de las parcelas, para luego reducirse con el transcurso de los días. Esta situación ha sido reportada para la aplicación de purín a pasturas, aunque en estos casos las emisiones son mucho más elevadas en el período de 0 a 48 horas tras la aplicación, con una marcada reducción posterior (Sommer y Hutchings, 2001; Pain *et al.*, 1990; Misselbrook *et al.*, 2004). En este caso, si bien la magnitud de las emisiones es muy inferior a la de aplicación de purines, el efecto se extiende más en el tiempo.

Los resultados obtenidos parecen indicar que, en las condiciones ambientales y de manejo estudiadas, el área de pastoreo está sometida a una baja carga contaminante por aporte de nutrientes, que además pueden

permitir la integridad y la persistencia de la pastura. Esto se traduce en leves cambios en el contenido de nutrientes del suelo, y unas pérdidas de nutrientes reducidas por escorrentía y emisión (NH_3). Por el contrario, el área de encierro permanente es donde se realizan los aportes más importantes de nutrientes, por la presencia continuada de los animales en la misma. La acumulación de nutrientes en esta zona, junto con la eliminación de la cobertura vegetal, pueden comprometer la integridad de la pastura y aumentar las pérdidas de nutrientes por escorrentía, lixiviación o volatilización. Por tanto, si bien es muy complicado cambiar la ubicación del área de refugio y alimentación dentro de un ciclo de engorde de los cerdos, sí que debería considerarse entre ciclos consecutivos.

Así pues, es necesario avanzar en el conocimiento que permita establecer una distribución óptima entre las zonas de pastoreo (sometidas a menor carga contaminante) y el encierro permanente, donde se localiza la mayor acumulación de nutrientes y por tanto los mayores riesgos ambientales. Así, para determinar la disposición adecuada de las parcelas de encierro permanente y de pastoreo resulta necesario conocer mejor el comportamiento de estos animales, y a su vez realizar un seguimiento a largo plazo de los nutrientes en el suelo, las emisiones de gases (NH_3) y las pérdidas por lixiviación y escorrentía.

Conclusiones

El sistema de producción no afectó el consumo total, sin embargo los animales a campo tuvieron un crecimiento y una eficiencia de conversión alimenticia menor. El aporte de la pastura al consumo total no presenta una gran importancia desde el punto de vista cuantitativo en condiciones de suministro de pienso a libre disponibilidad. En las condiciones estudiadas, la carga animal utilizada

en el sistema de pastoreo no tuvo un efecto significativo sobre la concentración de nutrientes en el suelo, excepto NH_4 y NO_3 . Por tanto, en las condiciones y el período de tiempo estudiados, los análisis realizados no confirman que la cría de cerdos a campo constituya una fuente contaminante significativa del suelo. En las parcelas de encierro permanente se producen condiciones de mayor acumulación de nutrientes, lo cual aumenta el riesgo de pérdidas por volatilización o escurrimiento.

Referencias

- Anderson N, Strader R y Davidson C, 2003. Airborne reduced nitrogen: ammonia emissions from agriculture and other sources. *Environment International* 29(2-3), 277-286.
- Arenare L, Couto P, Mauri P, 1997. Determinación del consumo de alfalfa cortada por cerdos de diferentes categorías. Tesis Ing. Agr., Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 68 p.
- Azzarini A, Estevez R, Ruiz M, 1973. Influencia del pastoreo en la economía de los concentrados en la preparación de los cerdos para el mercado. Primer Congreso Nacional de Producción Animal. Paysandú. Facultad de Agronomía. 23 p.
- Barloco N, 2005. Alimentación de cerdos en crecimiento y engorde, en pastoreo permanente. Utilización de Pasturas en la alimentación de cerdos, 15-21. Montevideo. Facultad de Agronomía.
- Barloco N, 2007. Recría y terminación de cerdos en condiciones pastoriles. IX Encuentro de Nutrición y Producción en Animales Monogástricos, 87-94. Montevideo, UDELAR, INIA.
- Basset-Mens C, van der Werf HMG, Robin P, Morvan T, Hassouna M, Paillat JM y Vertès F, 2007. Methods and data for the environmental inventory of contrasting pig production systems. *Journal of Cleaner Production* 15(15), 1395-1405.

- Bauzá R, 2005. Uso de pasturas en el crecimiento-terminación de cerdos: pastoreo con acceso restringido. Utilización de Pasturas en la alimentación de cerdos, 23-31. Montevideo. Facultad de Agronomía.
- Bauzá R, González A, Panissa G, Petrocelli, H y Miller V, 2005. Evaluación de dietas para cerdos en recría incluyendo forraje y suero de queso. Revista Argentina de Producción Animal, 25, pp. 11-18.
- Bee G, Guex G y Herzog W, 2004. Free-range rearing of pigs during the winter: Adaptations in muscle fiber characteristics and effects on adipose tissue composition and meat quality traits. Journal of Animal Science 82(4), 1206-1218.
- Canh TT, Verstegen MWA, Aarnink AJA y Schrama JW, 1997. Influence of dietary factors on nitrogen partitioning and composition of urine and feces of fattening pigs. Journal of Animal Science 75(3), 700-706.
- Carpenter SR, 2005. Eutrophication of aquatic ecosystems: Bistability and soil phosphorus. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 102(29), 10002-10005.
- Carriquiry M, Morón A y Sawchik J, 1999. Potencial de mineralización de Nitrógeno en suelos del área agrícola del Uruguay. Actas del XIV Congreso latinoamericano de Ciencia del Suelo. Temuco, Chile.
- DIEA, 2007. Encuesta Porcina 2006. Caracterización de la situación productiva, tecnológica, comercial y social del sector porcino. FPTA, MGAP-INIA, 170, pp. 1-71. Montevideo.
- DIEA, 2010. Anuario Estadístico 2010. MGAP. Montevideo.
- Dourmad JY, Seve B, Latimier P, Boisen S, Fernandez J, Peet-Schwering C y Jongbloed AW, 1999. Nitrogen consumption, utilisation and losses in pig production in France, The Netherlands and Denmark. Livestock Production Science 58(3), 261-264.
- Duran A y Garcia-Préchac F, 2007. Los suelos del Uruguay. Origen, clasificación, manejo y conservación. 1[1], Hemisferio Sur, Montevideo.
- Edwards SA, 2005. Product quality attributes associated with outdoor pig production. Livestock Production Science 94(1-2), 5-14.
- Franklin DH, Cabrera ML, Steiner JL, Endale DM y Miller WP, 2001. Evaluation of percent flow captured by a small in-field runoff collector. Transactions of the ASAE, 44(3), pp. 551-554.
- Hansen LL, Claudi-Magnussen C, Jensen SK y Andersen HJ, 2006. Effect of organic pig production systems on performance and meat quality. Meat Science 74(4), 605-615.
- INIA-GRAS, 2009. Monitoreo Mensual de la Vegetación. Sistemas de Información y teledetección. www.inia.org.uy
- Inouye RS y Tilman D, 1995. Convergence and divergence of old-field vegetation after 11 years of nitrogen addition. Ecology 76, 1872-1877.
- IPCC, 2006. Emissions from Livestock and Manure Management. En: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and other Land Use. Pag. 1-87. Hayama (Kanagawa), Japan.
- IRI, 2012. ENSO Quik Look. <http://iri.columbia.edu/climate/ENSO/currentinfo/QuickLook.html>. Last modified: 01/19/2012
- Ivanova-Peneva SG, Aarnink AJA and Verstegen MWA, 2008. Ammonia emissions from organic housing systems with fattening pigs. Biosystems Engineering 99(3), 412-422.
- Kruk C, Rodríguez-Gallego L, Meerhoff M, Quintans F, Lacerot G, Mazzeo N, Scasso F, Paggi J, Peeters E y Marten S, 2009. Determinants of biodiversity in subtropical shallow lakes (Atlantic coast, Uruguay). Freshwater Biology 54(12), 2628-2641.
- Leborgne R, 1983. Antecedentes técnicos y metodología para presupuestación en establecimientos lecheros. 2ª ed. Hemisferio Sur, Montevideo. 54p.
- Krupa SV, 2003. Effects of atmospheric ammonia (NH₃) on terrestrial vegetation: a review. Environmental Pollution 124, 179-221.
- Melse RW, Ogink NWM y Rulkens WH, 2009. Overview of European and Netherlands' regulations

- on airborne emissions from intensive livestock production with a focus on the application of air scrubbers. *Biosystems Engineering* 104(3), 289-298.
- MET URUGUAY, 2009. Características climáticas del Uruguay. <http://meteorologiauruguay.blogspot.com/2009/04/caracteristicas-climaticas-de-uruguay.html>
- MGAP, INIA, FAGRO y INAC, 2005. Evaluación Bioeconómica de Sistemas de Producción de Cerdos. FPTA, INIA, 130. Montevideo.
- Milne JA, 2005. Societal expectations of livestock farming in relation to environmental effects in Europe. *Livestock Production Science* 96(1), 3-9.
- Misselbrook T, Martinez J y Huijsmans J, 2007. Gaseous emissions from agricultural systems. Papers presented at the 11th Conference of the FAO Escorena Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture (RAMIRAN), 'Sustainable Organic Waste Management for Environmental Protection and Food Safety', Murcia, Spain, 6-9 October 2004. *Biosystems Engineering* 97(4), 429-532.
- Misselbrook TH, Smith KA, Jackson DR y Gilhespy SL, 2004. Ammonia emissions from irrigation of dilute pig slurries. *Biosystems Engineering* 89(4), 473-484.
- Mkhabela MS, Gordon R, Burton D, Smith E y Madani A, 2009. The impact of management practices and meteorological conditions on ammonia and nitrous oxide emissions following application of hog slurry to forage grass in Nova Scotia. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 130(1-2), 41-49.
- Moliterno E, 1986. Medición de Pasturas. Facultad de Agronomía, (469), pp. 1-9. Paysandú, Uruguay.
- Noblet J y Pérez. JM, 1993. Prediction of digestibility y of nutrients and energy values of pig diets from chemical analysis. *Journal of Animal Science*. 71, 3389-3398.
- Pain BF, Phillips VR, Clarkson CR, Misselbrook TH, Rees YJ y Farrent JW, 1990. Odour and ammonia emissions following the spreading of aerobically-treated pig slurry on grassland. *Biological Wastes* 34(2), 149-160.
- Payet N, Findeling A, Chopart JL, Feder F, Nicolini E, Saint Macary H y Vauclin M, 2009. Modelling the fate of nitrogen following pig slurry application on a tropical cropped acid soil on the island of Reunion (France). *Agriculture, Ecosystems & Environment* 134(3-4), 218-233.
- Quintern M y Sundrum A, 2006. Ecological risks of outdoor pig fattening in organic farming and strategies for their reduction. Results of a field experiment in the centre of Germany. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 117(4), 238-250.
- Risso D, 1997. Producción de carne sobre pasturas: Suplementación estratégica para el engorde de ganado. Serie técnica (83) 1-10, INIA La Estanzuela, Colonia, Uruguay.
- Ropelewski CF, Halpert MS, 1987. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño / Southern Oscillation. *Monthly Weather Review* 115, 1606-1626.
- Salomon E, Hkerhielm H, Lindahl C y Lindgren K, 2007. Outdoor pig fattening at two Swedish organic farms-Spatial and temporal load of nutrients and potential environmental impact. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 121(4), 407-418.
- SAS Institute Inc, 2008. SAS/STAT 9.2. User's Guide, SAS Institute Inc., Cary, NC (2008).
- Sawchik J, 2001. Dinámica del nitrógeno en la rotación cultivo-pastura bajo laboreo convencional y siembra directa. Edición: Díaz-Rosello, R. En: Siembra Directa en el Cono Sur. PROCISUR.
- Sommer SG y Hutchings NJ, 2001. Ammonia emission from field applied manure and its reduction - invited paper. *European Journal of Agronomy* 15, 1-15.
- Sommer SG, Sogaard HT, Moller HB y Morsing S, 2001. Ammonia volatilization from sows on grassland. *Atmospheric Environment* 35, 2023-2032.
- SSSA, 1986a. Core method. In: SSSA Book Series: 5 Methods of Soil Analysis. Part 1 Physical and Mineralogical Methods, ASA. SSSA. Madison Wisconsin USA. 364-365.
- SSSA, 1986b. Pressure cell apparatus "Richards". In: SSSA Book Series: 5 Methods of Soil Analysis. Part 1 Physical and Mineralogical Methods, ASA. SSSA. Madison Wisconsin USA. 635-660.

- Trujillo I y Uriarte G, 2011) Valor nutritivo de las pasturas. Curso de Nutrición Facultad de Agronomía. [http://prodanimal.fagro.edu.uy/cursos/NUTRICION/TEORICOS/Tema 2](http://prodanimal.fagro.edu.uy/cursos/NUTRICION/TEORICOS/Tema%202). Última actualización 29-3-2011.
- USDA, 1972. Pipet Method. USDA – Soil Conservation Service. Soil Survey Investigations Report No. 1 Washington. 63 p.
- Viñas M y Gutiérrez S, 2008. Estimación de los parámetros nacionales y básicos para el procesamiento y utilización de residuos sólidos y líquidos de tambos. FPTA, INIA, 138.
- Watson CA, Atkins T, Bento S, Edwards AC y Edwards SA, 2003. Appropriateness of nutrient budgets for environmental risk assessment: a case study of outdoor pig production. *European Journal of Agronomy* 20(1-2), 117-126.
- Webb J, Anthony SG, Brown L, Lyons-Visser H, Ross C, Cottrill B, Johnson P. y Scholefield D, 2005a. The impact of increasing the length of the cattle grazing season on emissions of ammonia and nitrous oxide and on nitrate leaching in England and Wales. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 105(1-2), 307-321.
- Webb J, Menzi H, Pain BF, Misselbrook TH, Dammgen U, Hendriks H y Dohler H, 2005b. Managing ammonia emissions from livestock production in Europe. *Environmental Pollution* 135(3), 399-406.
- Williams AE, Lund LJ, Johnson JA y Kabala ZJ, 1998. Natural and anthropogenic nitrate contamination of groundwater in a rural community, California. *Environmental Science and Technology* 32, 32-39.
- (Aceptado para publicación el 6 de marzo de 2012)

Caracterización productiva de la raza Ojinegra de Teruel: ¿Es la explotación un factor determinante?

R. Ripoll-Bosch^{*,1}, D. Villalba^{**}, I. Blasco^{*}, S. Congost^{***}, F. Faló^{****},
R. Revilla^{***} y M. Joy^{*}

* Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA). Av. Montañana 930, 50059 Zaragoza, España

** Departamento de Producción Animal- Universitat de Lleida. Av. Rovira Roure 191, 25198 Lleida, España

*** Centro de Mejora Ganadera. Dept. de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente. Gobierno de Aragón. Apdo. 617, Zaragoza, España

**** Asociación de Ganaderos de la Raza Ojinegra de Teruel (AGROJI). Plaza del Ayuntamiento 1. 44556 Molinos, España

Resumen

Para conservar y utilizar las razas ganaderas locales es necesario caracterizar el sistema productivo y evaluar el potencial productivo de la raza. Sin embargo, las razas locales con un relativo bajo número de cabezas, como es el caso de la Raza Ojinegra de Teruel, disponen de escasa información sobre sus parámetros productivos y de rendimientos, lo que puede condicionar posibles planes de mejora así como la toma de decisiones. Con el objetivo de conocer los parámetros productivos de la raza Ojinegra, se han estudiado los factores que afectan al peso vivo (PV) y a la condición corporal (CC) de las ovejas, al parto y al destete; y al peso vivo al nacimiento (PVnac) y la ganancia media diaria (GMD) de sus corderos desde el nacimiento hasta el destete, en condiciones productivas convencionales. El PV y la CC al parto ($43,3 \pm 7,4$ kg y $2,55 \pm 0,45$, respectivamente), al destete ($42,3 \pm 7,3$ kg y $2,73 \pm 0,45$) y su variación a lo largo de la lactación ($-0,95 \pm 3,97$ kg y $0,23 \pm 0,36$) fueron influenciados por la edad de la oveja, la época de parto y la explotación ganadera ($p < 0,05$). La CC en el momento del parto y a la variación de CC durante la lactación se vieron afectadas por el número de corderos nacidos ($p < 0,05$). El PVnac y la GMD ($3,5 \pm 0,67$ kg y 168 ± 51 g/día) estuvieron afectados por el sexo del cordero, el número de corderos criados por la madre, la edad de la madre al parto, la CC de la madre al parto y por la explotación ganadera ($p \leq 0,05$). La GMD también se vio afectada por la época de parto, mientras que el PVnac lo fue por la interacción de efectos "época de parto*corderos criados" ($p \leq 0,05$). El factor explotación fue determinante, representando hasta un 31% de la variabilidad en algunos parámetros. La variabilidad entre explotaciones podría explicarse tanto por las condiciones de manejo (distribución de partos, alimentación, manejo, etc.), como por la heterogeneidad genética de la raza.

Palabras clave: Heterogeneidad inter-explotación, peso vivo, condición corporal, ganancia media diaria.

Summary

Characterization of the Ojinegra sheep breed performance: Is the farm a decisive factor?

There is an increasing concern about conservation and utilization of livestock local breeds. To that end, it is required to quantify the productive potential of the breeds, as well as characterizing their produc-

1. Autor para correspondencia: rripoll@aragon.es

tive system. However, there is usually a lack of reliable data on performances for minority local breeds, which might condition on decision making. This is specially the case of the Spanish Ojinegra Sheep breed. A study was carried out to determine factors affecting live weight (LW) and body condition score (BCS) of ewes of the Ojinegra sheep breed, both at lambing and at weaning; and live weight at birth (LWb) and average daily gain (ADG) of their lambs, in commercial flocks. LW and BCS at partum (43.3 ± 7.4 kg y 2.55 ± 0.45 , respectively), at weaning (42.3 ± 7.3 kg y 2.73 ± 0.45) and its variation (-0.95 ± 3.97 kg y 0.23 ± 0.36) were influenced by the age of the animal, the lambing season and the farm ($p \leq 0.05$). BCS at lambing and the variation of BCS along lactation were affected by number of birth lambs ($p < 0.05$). LWb and ADG (3.5 ± 0.67 kg y 168 ± 51 g/day) were affected by lamb's gender, birth rate, dam's age at parturition, dam's BCS at lambing and the farm ($p < 0.05$). ADG was also affected by lambing season, whilst LWb was affected by the interaction of factors "lambing season*lamb birth type". The farm itself was a determinant factor, representing up to 31% of variability in some parameters. Variation among farms might be explained both by management particularities and/or genetic heterogeneity within the breed.

Key words: Farm heterogeneity, body-weight, body condition score, average daily gain.

Introducción

Los sistemas de explotación de ovino de carne en España se consideran básicamente extensivos o semiextensivos, ya que aprovechan y valorizan los recursos naturales renovables disponibles (Sierra, 2002). Dichos sistemas están estrechamente ligados al territorio y es frecuente el uso de razas autóctonas, bien adaptadas a las particularidades orográficas del terreno y a las difíciles condiciones ambientales de la zona.

La producción ovina se ha visto inmersa en un proceso de intensificación desde los años 60 lo que ha provocado un importante descenso del número de explotaciones que utilizan razas autóctonas. Algunas se han extinguido y otras están fuertemente amenazadas debido a la introducción de razas foráneas o debido a un cruzamiento indiscriminado (Woolliams y Toro, 2007). Sin embargo, en las últimas dos décadas ha surgido un renovado interés por recuperar las razas ganaderas locales por estar mejor adaptadas a las condiciones locales y por ofrecer una mayor capacidad de respuesta ante posibles cambios, como es el cambio climático, la aparición o reaparición de enfermedades, nuevas tendencias en los mercados o nuevas necesidades de la socie-

dad (Hoffmann, 2010). Para utilizar razas ganaderas locales con fines productivos es indispensable conocer su potencial productivo y caracterizar el sistema de explotación. Sin embargo, en la mayoría de razas locales se dispone de escasos datos productivos registrados. La mayoría de información se refiere únicamente a aspectos morfológicos y la escasa información sobre los rendimientos productivos se estima en base a muestras de pequeño tamaño (Gandini y Oldenbroek, 2007). Por ello, la comparación de los resultados productivos de las razas locales con los de otras razas es difícil y a menudo conlleva a errores (FAO, 1998), pudiendo ello condicionar los esquemas de selección y la toma de decisiones.

La raza ovina Ojinegra de Teruel es de lana entrefina y descendiente de la *O.A. Ibericus*, con una orientación productiva principal para la carne. Esta raza supone un importante recurso genético tanto por su censo, cerca de 30.000 cabezas, como por el importante papel económico, social y medioambiental que juega en la comarca del Maestrazgo (Comunidad Autónoma de Aragón, España) y otras zonas colindantes (Lara et al., 2000). Pese a estar integrada en la IGP "Ternasco de Aragón" (BOE, 2006), su pequeño formato y sus bajos crecimientos condicionan la adaptación

de sus productos a las características solicitadas por el mercado y los reglamentos técnicos de la IGP. Con el fin de evitar problemas de excesivo engrasamiento y de bajos crecimientos y poder cumplir con los requisitos del mercado, los ganaderos iniciaron el cruzamiento sistemático con otras razas mejoradas. Estos cruzamientos conllevaron una reducción del número de cabezas de Ojinegra puras. Ante esta situación se creó la Asociación de ganaderos de la Raza Ojinegra de Teruel (AGROJI) con el fin de recuperar, mantener y mejorar la raza (Picazo et al., 2004). Diversos estudios (Picazo et al., 2004; Flores et al., 2002; Lara et al., 2000; Arrufat, 1982) caracterizan el sistema de producción y el entorno económico de la raza. Sin embargo, se hace necesario un mejor conocimiento de la capacidad productiva del ganado, dado el proceso de cruzamiento y mejora al que ha sido sometido.

El objetivo del presente trabajo fue determinar qué factores influyen en el peso vivo y la condición corporal de la oveja al parto y al destete y qué factores afectan su potencial para producir corderos. El estudio se llevó a cabo en distintas explotaciones comerciales de forma simultánea para determinar si existía variabilidad entre las ganaderías y, en caso afirmativo, cuantificar su influencia sobre los resultados.

Material y métodos

El área geográfica en la que se ubican las explotaciones estudiadas corresponde a la comarca del Maestrazgo y regiones colindantes (sur-este de la Comunidad Autónoma de Aragón). La zona, con una altitud media de unos 800 m sobre el nivel del mar, se caracteriza por presentar unas temperaturas extremas (mín de -12 °C y máx de 40°C en 2008) y una pluviometría escasa (400 mm en 2008) (MARM, 2009). Las particularidades ambientales con-

dicionan la disponibilidad de pastos, que suele ser exigua y muy estacional.

El sistema de explotación más habitual es el semi-extensivo (Lara et al., 2000): el rebaño vacío y gestante aprovecha los recursos pastables, tanto agrícolas (forrajes, barbechos, restos de cosechas, etc.) como naturales (pastizales, pastos comunales, sotobosques, etc.) mediante pastoreo conducido. Se realiza un aporte alimenticio en aprisco cuando el pasto es insuficiente, especialmente durante el invierno (Flores et al., 2002). En algunas explotaciones se realiza una suplementación de alimento durante el tramo final de la gestación. De forma habitual, e independientemente de la época del año, los animales en lactación permanecen estabulados con los corderos y reciben un aporte alimenticio a base de cereal y/o concentrado más paja en pesebre (Ripoll et al., 2010).

Los datos se obtuvieron en 8 explotaciones comerciales integrantes de AGROJI, que se ofrecieron para poder realizar el estudio. El tamaño muestral supuso el seguimiento del 14% del total de explotaciones y del 15% del total de ejemplares de la raza. Se realizaron controles periódicos de peso vivo y condición corporal de las ovejas, tanto al parto como al destete, y se tomaron registros de peso vivo de los corderos al nacimiento y durante el periodo de lactación, desde finales de 2007 y a lo largo de 2008. Los pesos se registraron con una balanza electrónica con una precisión de 500 g y se estimó la condición corporal (Russel et al., 1969) como indicador rápido y fiable del nivel de reservas (Abecia et al., 2003). Dicha estimación la realizaron dos técnicos entrenados para ello. Todas las explotaciones siguieron un manejo reproductivo de tres partos en dos años, excepto una, que realizó dos parideras al año.

Se controlaron un total de 4364 ovejas y se obtuvieron 9545 registros de peso vivo (PV) y condición corporal (CC), tanto al parto (p)

como al destete (d): 2556 registros de peso vivo al parto (PVp), 2120 registros de peso vivo al destete (PVD), 2662 registros de condición corporal al parto (CCp) y 2207 registros de condición corporal al destete (CCd). Además se calculó la variación de PV (vPV) y de CC (vCC) durante el periodo de lactación. Los efectos de los que se disponía de información eran la edad de la oveja categorizada (1; 2; de 3 a 5; >5 años); el tipo de parto (simple; múltiple); la época de parto (invierno; primavera; verano; otoño); y la explotación (n = 8).

En cuanto a los corderos, se controlaron un total de 6381 corderos y se obtuvieron 15834 registros de PV entre el nacimiento (PVnac) y hasta que el cordero abandonó la explotación, que solía coincidir con el destete. No se fijó un criterio de destete común y se siguió el manejo propio de cada explotación, registrando datos hasta los 90 días de vida máximo. Los registros se realizaron de forma sucesiva, a edades no prefijadas, y el número de pesadas por cordero fue variable (promedio de 2,5 registros de peso por cordero, con un mínimo de 1 y un máximo de 7 registros). La información de la que se disponía sobre los corderos era el sexo (macho; hembra), el tipo de parto (simple; múltiple), la época de parto (invierno; primavera; verano; otoño), la edad de la madre categorizada (1; 2; de 3 a 5; >5 años), la CC de la madre categorizada ($\leq 2,25$; de 2,25 a <2,75; de 2,75 a 3; >3) y la explotación (n = 8).

Los datos de PV y CC de las ovejas fueron analizados mediante el procedimiento MIXED del programa estadístico SAS aplicando un modelo mixto: $y_{ijklm} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \zeta_k + \gamma_l + \eta_m + \varepsilon_{ijklm}$, donde y_{ijklm} es la variable dependiente explicada por la media (μ), los efectos fijos: α_i la edad de la oveja; β_j la época de parto; ζ_k el sexo del cordero; γ_l el tipo de parto, el efecto aleatorio del ganadero (η_m); y ε_{ijklm} el error residual.

Como se ha mencionado anteriormente, el número de registros de PV por cordero fue

variable y además no se realizaron a edades fijas. Para utilizar toda la información disponible y a la vez obtener los parámetros de crecimiento de cada cordero, se analizaron los datos de PV en función de la edad mediante un modelo de regresión cuadrática con coeficientes de regresión aleatorios (implementado mediante el procedimiento MIXED del SAS). En este modelo, los parámetros medios ordenada en el origen y los coeficientes lineal y cuadráticos, se estimaban para toda la población, y se incluía un efecto aleatorio del animal que permitía obtener la desviación de cada animal de los dos primeros parámetros. De esta forma se obtenía una estimación (la suma del valor medio de la población y la desviación individual) para la ganancia media diaria (GMD, coeficiente lineal) y peso al nacimiento (PVnac, ordenada en el origen) para cada cordero.

Las estimas de PVnac y GMD fueron analizadas mediante el procedimiento MIXED del programa estadístico SAS aplicando un modelo mixto: $y_{ijklmnp} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \zeta_k + \gamma_l + \eta_m + \delta_n + \theta_p + \varepsilon_{ijklmnp}$, donde $y_{ijklmnp}$ es la variable dependiente explicada por la media (μ), los efectos fijos: α_i la edad de la oveja; β_j la época de parto; ζ_k el sexo del cordero; γ_l el tipo de parto; δ_n la CC al parto; θ_p la interacción "tipo de parto*época de parto"; el efecto aleatorio del ganadero (η_m); y $\varepsilon_{ijklmnp}$ el error residual.

Los resultados se presentan para cada factor como medias mínimo cuadráticas y se considera un nivel de significación del 5%.

Resultados y discusión

Rendimientos de las ovejas

Los trabajos publicados sobre la raza Ojinegra de Teruel son escasos, por lo que se establecen comparaciones con otras razas, principalmente con la Churra Tensina, por ser una

raza que presenta cierta similitud con la raza Ojinegra de Teruel (Olleta, 1988) y con la Rasa Aragonesa, por ser la raza autóctona más representativa de la región (Sierra, 2002) y estar integrada, junto a la raza Ojinegra, en la IGP Ternasco de Aragón (BOE, 2006).

En la Tabla 1 se muestran los valores de PV y CC de las ovejas de la raza Ojinegra de Teruel al parto, al destete y la variación entre ambos momentos ocurrida durante la lactación. Los pesos obtenidos son algo inferiores a los descritos por Lara et al., (2000), quienes atribuyen a las hembras pesos de entre 45-60 kg de PV, pero coinciden con los ofrecidos por Sierra (2002), que describe la raza como animal de peso pequeño a mediano, con 40-50 kg de PV en las hembras. La CC al parto observada fue de 2,55 puntos con una desviación estándar (DE) de 0,45. Dicha puntuación podría considerarse como baja (Oregui et al., 2004) y según Bocquier et al. (1990) sería más propia del destete que del parto. Estos mismos autores recomiendan una CC al parto cercana a los 3,5 puntos, especialmente en razas prolíficas, y de 2,5 puntos en el momento del destete. Durante la lactación, la tendencia general que cabría esperar sería un descenso de la nota de la CC. En este periodo, en general, se registra una movilización de las reservas corporales de las ovejas, lo que dismi-

nuye los depósitos de grasa y especialmente la grasa subcutánea. Sin embargo, el presente estudio se observó un ligero incremento de la CC (0,23 puntos $\pm$ 0,36 DE) en siete de las 8 explotaciones. Determinar las causas de esta tendencia es difícil, dado que intervienen multitud de factores ajenos al diseño experimental. Entre estos múltiples factores cabría destacar por un lado una baja producción lechera de la raza (Ripoll-Bosch et al., 2010), que suscitaría una mínima movilización de las reservas corporales, y por otro lado una posible sobrealimentación durante la lactación, con el objetivo de compensar la baja CC con la que la oveja llega al parto.

El incremento de la CC (+0,23) no es consistente con la pérdida de PV (-0,95 kg) observado durante la lactación (Tabla 1). Sin embargo, en ambos casos, las variaciones son de poca envergadura y deben relativizarse considerando que el ensayo se desarrolló en explotaciones comerciales. En estas condiciones, la precisión de los datos podría verse afectada. Por ejemplo, el PV es un parámetro que puede estar afectado por el contenido digestivo de los animales, fruto de la alimentación o de la variación existente dentro de un mismo día; y la CC, una medida subjetiva, pudo verse condicionada por la presencia de distintos evaluadores.

Tabla 1. Resultados de las ovejas de raza Ojinegra para peso vivo (PV) y condición corporal (CC) al parto, al destete y su variación. Valores máximos y mínimos promedio registrados por explotación
Table 1. Live weight (PV) and body condition score (CC) of Ojinegra sheep breed at lambing, weaning and its variation. Maximum and minimum values observed within farms

	PV (kg)				CC (puntuación; 1-5)			
	Media	Error estándar	Máximo	Mínimo	Media	Error estándar	Máximo	Mínimo
Parto	43,25	$\pm$ 1,5	49,4	38,6	2,55	$\pm$ 0,07	2,74	2,26
Destete	42,32	$\pm$ 1,2	46,8	37,7	2,73	$\pm$ 0,07	2,92	2,34
Variación	-0,95	$\pm$ 0,58	0,66	-1,24	0,23	$\pm$ 0,06	0,57	0,11

En la Tabla 2 se muestran los factores que determinaron el PV de las ovejas en el parto (PVp), al destete (PVd) y a la variación de PV (vPV) durante la lactación, que fueron la edad de la oveja, la época de parto y la explotación. Sin embargo, el sexo del cordero gestado y el tipo de parto (simple o múltiple), no tuvieron influencia sobre el parámetro PV ($p > 0,05$). En la Tabla 3 se incluyen los factores determinantes para la CC de las ovejas

en el parto (CCp), al destete (CCd) y a la variación de CC (vCC) durante la lactación. En este caso se repitieron los mismos factores determinantes: edad de la oveja, época de parto y explotación; pero además, el factor tipo de parto también resultó determinante para CCp y vCC, aunque no tuvo influencia sobre CCd. El factor sexo del cordero, al igual que en el PV, tampoco tuvo influencia sobre la CC ($p > 0,05$). El efecto del factor explota-

Tabla 2. Efecto de la edad de la oveja, de la época de parto, del sexo del cordero y del tipo de parto sobre el peso vivo (PV; en kg) en el momento del parto (p), del destete (d) y su variación (v) a lo largo de la lactación; y el porcentaje de la varianza total explicado por el factor explotación y por el resto de efectos

Table 2. Effect of the age of the ewe, lambing season, gender of the lamb and lamb-birth type on the live weight (PV; in kg) of Ojinegra ewes, at lambing (p), at weaning (d) and its variation (v) during lactation; and percentage of the total variance explained by the farm and by the other effects

Efecto	Categoría	Parto		Destete		Variación	
		PVp	S ¹	PVd	S ¹	vPV	S ¹
Edad de la oveja	1	39,5 ± 1,5 d		38,8 ± 1,2 c		-0,4 ± 1,6 b	
	2	42,2 ± 1,5 c		41,3 ± 1,2 b		-1,1 ± 1,6 ab	
	3-5	46,1 ± 1,4 a		44,8 ± 1,2 a		-1,4 ± 1,5 a	
	>5	45,2 ± 1,4 b		44,4 ± 1,2 a		-0,9 ± 1,5 b	
Época de parto	Invierno	41,2 ± 1,5 d		41,4 ± 1,2 b		0,4 ± 1,6 c	
	Primavera	43,7 ± 1,5 b		40,1 ± 1,2 c		-3,1 ± 1,6 a	
	Verano	45,7 ± 1,5 a		45,6 ± 1,2 a		-0,1 ± 1,5 d	
	Otoño	42,5 ± 1,5 c		42,1 ± 1,2 b		-1,1 ± 1,6 b	
Sexo cordero	Macho	43,3 ± 1,4		42,4 ± 1,2		-0,9 ± 1,5	
	Hembra	43,2 ± 1,4		42,2 ± 1,2		-1,0 ± 1,5	
Tipo de parto	Simple	43,1 ± 1,4		42,0 ± 1,2		-1,1 ± 1,5	
	Múltiple	43,4 ± 1,5		42,6 ± 1,2		-0,8 ± 1,6	
% de la variación total explicada							
Explotación ²		30,7		20,9		12,2	
Resto efectos		5,1		7,3		6,6	

¹ S = Significación. Dentro de cada efecto, letras distintas entre categorías denotan significación estadística ($p < 0,05$).

ción se expresa en el porcentaje de la variabilidad que explica dicho efecto sobre la varianza total del parámetro estudiado. Esto es debido a que el factor explotación se considera aleatorio y no se busca conocer las diferencias puntuales existentes entre las ocho explotaciones integrantes del estudio, sino obtener un valor que ponga de manifiesto la variabilidad existente entre explotaciones.

El PV más bajo según la edad de la oveja correspondió a los animales de 1er año (en torno a 6 kg inferior), debido a que aun no han alcanzado el peso adulto. Las ovejas de segundo parto presentaron un PV superior al de las borregas pero significativamente inferior a las ovejas adultas de más de 3 años ($p < 0,05$; Tabla 2). El mayor PV al parto se registró en ovejas de entre 3 y 5 años de edad y disminuyó a edades superiores. Al destete, el PV siguió la misma tendencia, excepto que en este caso no se observaron diferencias a partir de los tres años de edad. En cuanto a la variación de PV durante la lactación, ésta fue más severa en las ovejas de 3-5 años y menor en el resto, posiblemente porque las ovejas adultas son capaces de movilizar más reservas y producir más leche (Oregui et al., 2004).

Tal y como se ha mencionado anteriormente, la época de parto también influyó en el PV ($p < 0,05$). En verano se obtuvo el PV más elevado, tanto al parto como al destete y con la menor variación de peso entre ambos. Unas temperaturas moderadas junto con una buena pluviometría a principios de verano (mayo y junio de ese año presentaron el doble de precipitación que la media de los últimos 20 años) permitieron una mayor disponibilidad de pasto en esa época. Este mejor estado nutricional se refleja incluso en unos mayores crecimientos de los corderos en lactación en esta época. Por el contrario, el menor PV al parto se registró en invierno, época de escasa precipitación, en la que la oferta de recursos pastables es menor y el número de horas de pastoreo disminuye, por haber me-

nos horas de luz a lo largo del día. Al destete, el menor PV ocurrió en primavera, que también mostró la mayor variación de PV entre parto y destete.

El efecto de la explotación sobre el PV al parto fue determinante, explicando casi el 31% de la varianza total. Ese porcentaje se redujo en el PV al destete y en la variación del PV, pero conservando aun un efecto considerable (Tabla 2).

Para el parámetro CC (Tabla 3), la edad de la oveja afectó del mismo modo tanto al parto como al destete ($p < 0,05$): las ovejas de entre 3 y 5 años de edad presentaron el mejor estado de reservas corporales y las mayores de 5 el peor. El mayor incremento de la CC se observó en las primíparas y en las mayores de 5 años. Las borregas entran a formar parte del rebaño cuando todavía están en fase de desarrollo y crecimiento y no acostumbran a tener un manejo diferenciado. La mínima movilización de reservas podría deberse a que en los animales jóvenes prevalece el depósito de tejido con el fin de permitir el crecimiento. Esto podría ocasionar una menor producción de leche, como se refleja en el crecimiento de los corderos. En cuanto a las ovejas mayores de 5 años (entre 6 y 11 años) pudo deberse a la reducción de las necesidades de las ovejas y a una disminución de la producción de leche, lo que se traduciría en un depósito de reservas.

La época de parto también determinó la CC de las ovejas ($p < 0,05$). La nota de CC en el momento del parto fue más elevada en las estaciones de invierno y verano respecto a las de primavera y otoño (2,61 vs. 2,50). Estas puntuaciones podrían explicarse por las particularidades meteorológicas del año y las condiciones de manejo. La lluvia se acumuló a finales de primavera, limitó la disponibilidad de pasto en esa estación y la aumentó en verano. Además, es una práctica habitual en la zona suplementar el rebaño gestante en invierno (Lara et al., 2000) y ocasionalmente en verano, para paliar la escasez de recursos

Tabla 3. Efecto de la edad de la oveja, de la época de parto, del sexo del cordero y del tipo de parto sobre la condición corporal (CC) en el momento del parto (p), del destete (d) y su variación (v) a lo largo de la lactación; y el porcentaje de la varianza total explicado por el factor explotación y por el resto de efectos

Table 3. Effect of the age of the ewe, lambing season, gender of the lamb and lamb-birth type on the body condition score (CC) of Ojinegra ewes, at lambing (p), at weaning (d) and its variation (v) during lactation; and percentage of the total variance explained by the farm and by the other effects

Efecto	Categoría	Parto		Destete		Variación	
		CCp	S ¹	CCd	S ¹	vCC	S ¹
Edad de la oveja	1	2,54 ± 0,07 b		2,74 ± 0,07 ab		0,23 ± 0,06 a	
	2	2,57 ± 0,07 b		2,74 ± 0,07 b		0,16 ± 0,06 b	
	3-5	2,65 ± 0,07 a		2,80 ± 0,07 a		0,19 ± 0,06 ab	
	>5	2,46 ± 0,07 c		2,65 ± 0,07 c		0,22 ± 0,06 a	
Época de parto	Invierno	2,60 ± 0,07 a		2,81 ± 0,07 a		0,24 ± 0,06 b	
	Primavera	2,51 ± 0,07 b		2,64 ± 0,07 b		0,09 ± 0,06 c	
	Verano	2,62 ± 0,07 a		2,66 ± 0,07 b		0,09 ± 0,06 c	
	Otoño	2,48 ± 0,07 b		2,82 ± 0,07 a		0,38 ± 0,06 a	
Sexo cordero	Macho	2,55 ± 0,07		2,72 ± 0,07		0,19 ± 0,06	
	Hembra	2,55 ± 0,07		2,74 ± 0,07		0,21 ± 0,06	
Tipo de parto	Simple	2,62 ± 0,07 a		2,74 ± 0,07		0,14 ± 0,06 b	
	Múltiple	2,49 ± 0,07 b		2,72 ± 0,07		0,26 ± 0,06 a	
% de la variación total explicada							
Explotación ²	17,3	17,4		15,7			
Resto efectos	1,2	2,4		1,6			

¹ S = Significación. Dentro de cada efecto, letras distintas entre categorías denotan significación estadística (p < 0,05).

naturales. Si el aporte de concentrado está por encima de las necesidades de la oveja, se registra un aumento del estado de reservas lo que explicaría la mayor nota registrada en estas dos estaciones. Por otro lado, al destete, las ovejas que presentaron una mayor nota de CC fueron las paridas en invierno y otoño, mientras que las de primavera y verano registraron valores inferiores (2,82 vs. 2,65). Las mayores variaciones de CC durante la lac-

tación ocurrieron en otoño e invierno y las menores en primavera y verano.

El tipo de parto también condicionó la variación de CC durante la lactación en sentido opuesto a lo esperado, ya que las ovejas de parto múltiple presentaron un mayor incremento de CC. La cría de los corderos suele realizarse en rebaño, lo que favorece el hurto de leche y puede diluir el efecto del tipo de parto.

El efecto de la explotación sobre la variabilidad del parámetro CC se estimó alrededor del 17%, tanto al parto, como al destete, como en la variación de CC entre ambos (Tabla 3). En general, el efecto de la explotación es más determinante sobre el PV que sobre la CC. La CC es una medida puntual que expresa el estado de reservas de la oveja momento determinado y puede modificarse a corto plazo variando el plano alimenticio. Sin embargo, aunque el PV también está condicionado por el estado de reservas, existen otros factores que pueden ser determinantes y que son propios de cada explotación: la selección de los animales reproductores y el manejo de los animales de reposición (edad a la primera cubrición, alimentación, etc.).

Rendimientos de los corderos

El peso vivo al nacimiento de los corderos (PVnac) fue de media de $3,5 \text{ kg} \pm 0,67 \text{ DE}$, siendo similar a los valores observados por Arrufat (1982). Este autor concluía que el PVnac oscilaba entre 3,6 y 2,7 kg dependiendo del tipo de parto (simple o múltiple) y del sexo del cordero (macho o hembra). En el presente estudio los factores que determinaron el PVnac de los corderos fueron la edad de la oveja al parto, la CC de la oveja al parto, el sexo del cordero, el tipo de parto, la explotación y la interacción entre el tipo de parto y la época de parto (Tabla 4).

La edad de la oveja fue un factor determinante en el PVnac. El PVnac más bajo se observó en ovejas primíparas, lo que es debido a que la oveja primípara esta aun creciendo y los nutrientes se destinan tanto a la gestación del feto como al desarrollo de la madre, para que ésta alcance el peso adulto. El PVnac más elevado se registró en ovejas de entre 3 y 5 años de edad, dado que la oveja ha alcanzado el peso adulto y fisiológicamente está en la edad óptima para criar.

La CC de la oveja al parto también determinó el PVnac, con los pesos de corderos más ele-

vados por encima de 2,25 puntos. El estado de reservas de la madre condiciona el desarrollo del feto. Cuando la CC es baja, los corderos nacen más delgados y presentan menor longitud (Osgerby et al., 2003). Varios estudios muestran también una estrecha relación entre una baja CC y el PVnac bajo, tal y como se ha observado en el presente estudio (Molina et al., 1991; Oregui et al., 2004). Álvarez-Rodríguez et al. (2012), en un estudio en el que valoraban el efecto de la CC de la oveja durante la gestación sobre el metabolismo del tejido adiposo de las ovejas de raza Churra Tensina, observaron que el PVnac era inferior en el grupo de ovejas con $CC < 3$ y que las crías de las ovejas que presentaban una $CC > 3$ tenían un PVnac superior aunque no de forma significativa.

El PVnac fue significativamente superior en corderos de parto simple respecto a los de parto múltiple (3,7 vs. 3,3 kg) y los machos obtuvieron registros más elevados que las hembras (3,6 vs. 3,4 kg), lo que concuerda con los resultados observados por Arrufat (1982). Por el contrario, Casasús et al. (1994) observaron en corderos de la raza Churra Tensina que el tipo de parto afectaba el PVnac pero no el sexo.

La época de parto no determinó el PVnac, lo que contrasta con los resultados observados por Molina et al. (1991), cuando estudiaban la evolución de la CC en ovejas de raza Manchega y su efecto sobre el crecimiento de los corderos. Esto podría deberse a las menores diferencias de CC y PV de las ovejas entre las distintas épocas de parto observadas en el presente estudio.

Sin embargo, se observó una interacción significativa entre la época de parto y el tipo de parto ($p < 0,05$). El PVnac de corderos de parto múltiple fue el más bajo y se mantuvo constante, independientemente de la época ($3,3 \text{ kg} \pm 0,09$), mientras que el PVnac de los corderos de parto simple varió según la época del año: el PVnac más elevado se observó durante

Tabla 4. Efecto de la época de parto, del sexo del cordero, del tipo de parto, de la condición corporal (CC) de la oveja al parto, de la edad de la oveja al parto y la interacción "Tipo de parto*Época de parto", sobre el peso vivo al nacimiento (PVnac; en kg) y la ganancia media diaria (GMD; en g/día) de los corderos; y el porcentaje de la varianza total explicado por el factor explotación y por el resto de efectos

Table 4. Effect of lambing season, gender of the lamb, lamb-birth type, body condition score of the ewes at lambing and the interaction "lamb-birth type lambing season", on live weight of lambs at birth (PVnac; in kg) and their average daily gain (GMD; in g/day); and percentage of the total variance explained by the farm and by the other effects*

Efecto	Categoría	PVnac		GMD	
		(kg)	S ¹	(g/día)	S ¹
Época de parto	Invierno	3,49 ± 0,08		157 ± 6,4	c
	Primavera	3,47 ± 0,08		164 ± 6,4	b
	Verano	3,53 ± 0,08		181 ± 6,5	a
	Otoño	3,50 ± 0,08		168 ± 6,4	b
Sexo	Macho	3,58 ± 0,08	a	173 ± 6,2	a
	Hembra	3,42 ± 0,08	b	162 ± 6,2	b
Tipo de parto	Simple	3,74 ± 0,08	a	180 ± 6,2	a
	Múltiple	3,26 ± 0,08	b	155 ± 6,4	b
CC al parto	≤2.25	3,43 ± 0,08	b	161 ± 6,3	c
	>2.25/<2.75	3,51 ± 0,08	a	167 ± 6,3	b
	2.75/3	3,54 ± 0,08	a	172 ± 6,3	a
	>3	3,51 ± 0,08	a	170 ± 6,5	ab
Edad al parto	1	3,30 ± 0,08	d	159 ± 6,6	d
	2	3,46 ± 0,08	c	165 ± 6,4	c
	3-5	3,64 ± 0,08	a	176 ± 6,2	a
	>5	3,59 ± 0,08	b	170 ± 6,3	b
Tipo parto * Época parto	Invierno*Simple	3,71 ± 0,08	b	169 ± 6,3	
	Primavera*Simple	3,68 ± 0,08	b	175 ± 6,4	
	Verano*Simple	3,82 ± 0,08	a	195 ± 6,4	
	Otoño*Simple	3,74 ± 0,08	b	182 ± 6,4	
	Invierno*Múltiple	3,27 ± 0,08	c	145 ± 6,8	
	Primavera*Múltiple	3,27 ± 0,09	c	153 ± 7,1	
	Verano*Múltiple	3,25 ± 0,09	c	167 ± 7,1	
	Otoño*Múltiple	3,26 ± 0,08	c	155 ± 6,8	
% de la variación total explicada					
Explotación		20,5		16,4	
Resto efectos		10,8		8,7	

¹ S = Significación. Dentro de cada efecto, letras distintas entre categorías denotan significación estadística (p < 0,05).

la época verano ($3,8 \text{ kg} \pm 0,08$) y el resto del año se registraron pesos inferiores ($3,7 \text{ kg} \pm 0,08$). De nuevo, la explotación fue un factor importante para determinar el PVnac, acumulando un 20% de la varianza total.

La ganancia media diaria de los corderos (GMD) se estimó en 168 g/día ($DE = 51 \text{ g/día}$), desde el parto hasta que el cordero abandonó la explotación, que solía coincidir con el destete. El destete tuvo lugar a los $49,3 \pm 10,2$ días de vida. Es importante mencionar que la comparación de la GMD con otros estudios puede ser controvertida, ya que no siempre se calcula sobre el mismo periodo de tiempo, ni en la misma época, ni bajo unas mismas condiciones de manejos. El valor de GMD obtenido en el presente estudio es inferior al presentado por Arrufat (1982), con crecimientos de 176 g/día a edades de entre 0 y 30 días. Estos valores de GMD descritos en la raza Ojinegra de Teruel pueden considerarse bajos si se comparan con los resultados obtenidos en otras razas locales como pueden ser la Churra Tensina (Joy et al., 2012) o la Rasa Aragonesa (Álvarez-Rodríguez et al., 2010). Diversos estudios realizados en la raza Churra Tensina mostraron que la GMD en corderos machos era de 262 g/día a una edad de 79 días y entre 261 y 313 g/día con edades de entre 63 y 76 días de vida (Carrasco et al., 2009). En la mayoría de trabajos publicados de razas locales los estudios se realizan exclusivamente con corderos machos lo que incrementa los valores en GMD (Joy et al., 2008). Cuando se realizan estudios con ambos sexos, las GMD son más moderadas, tal y como se observa en el estudio de Álvarez-Rodríguez et al. (2010) realizado con corderos Rasa Aragonesa con valores medios de 207 g/día a 94 días de edad.

En el presente estudio, los factores que determinaron la GMD de los corderos fueron el sexo del cordero, el tipo de parto, la edad de la oveja al parto, la CC de la oveja al parto, la época de parto y la explotación (Tabla 4).

Los corderos de parto simple obtuvieron una GMD mejor que los de parto múltiple (180 vs. 155 g/día ; un 18% superior), del mismo modo que los machos presentaron GMD superiores a las de las hembras (173 vs. 162 g/día ; un 8% superior). En los estudios de Arrufat et al. (1982) y Casasús et al. (1994) también se observó un efecto del tipo de parto, con un mayor crecimiento en corderos de parto simple, del 30% y 10% respectivamente, y del sexo, con crecimientos superiores para los machos del 8% y 5%, respectivamente.

La época de parto también fue determinante, siendo el verano la época con mayores crecimientos. Esto coincide con la época en la que las madres presentan un mayor estado de reservas corporales (junto con invierno); y cuando se registra el menor incremento de CC (junto con primavera). Molina et al. (1991) también detectó un efecto de la época, siendo primavera la de mayor GMD. La influencia de la época del año está relacionada probablemente con la calidad y, sobretudo, con la disponibilidad de alimentos, especialmente de forraje. Dado que la alimentación en pesebre es a base de concentrado, probablemente una mejor calidad del forraje ofrecido puede provocar una mayor producción de leche con una mejor calidad, traducándose en una mayor GMD del cordero.

La edad de la oveja también afectó a la GMD, observándose los resultados más bajos en oveja primíparas, estando ello de acuerdo con Casasús et al. (1994). Las ovejas de entre 3 y 5 años consiguieron los mejores registros de GMD. Eso podría deberse a una mayor producción de leche a estas edades, ya que la producción máxima se alcanza a los 5-6 años de edad y luego decrece (Oregui et al., 2004).

La CC al parto de las ovejas también determinó la GMD de los corderos. Los peores crecimientos correspondieron a ovejas por debajo de 2,25 puntos y los mejores, a partir de los 2,75 puntos (161 vs. 170 g/día). Por el con-

trario, Molina *et al.* (1991), en un estudio que relacionaba distintos niveles de CC de las ovejas con la producción de corderos, no encontraron diferencias significativas de GMD. En estudios de producción de leche en ovejas de raza Latxa (Oregui *et al.*, 2004), en Churra Tensina (Álvarez-Rodríguez *et al.*, 2012) y en Ojinegra (Ripoll-Bosch *et al.*, 2010) tampoco se encontró efecto significativo de la CC en la producción de leche y por tanto en el crecimiento del cordero durante la etapa lechal.

Para el parámetro de ganancia media diaria la explotación explicó un 16% de la varianza total de la GMD. La variabilidad de GMD existente entre explotaciones podría deberse a distintos criterios de destete, ya que no se fijó una edad o un peso determinado.

Efecto explotación

En estudios de caracterización productiva en ovino a menudo se asume la existencia de cierta variabilidad entre explotaciones, pero raramente se cuantifica. Conocer las diferencias existentes entre dos o más explotaciones concretas posiblemente no es relevante. Por el contrario, sí es relevante saber qué parte de la variabilidad de los resultados se explica por el factor explotación. Escasos estudios valoran la variabilidad entre explotaciones ovinas. Olleta (1988), en un estudio etnológico y fisiocootécnico de la raza Churra Tensina, encontró diferencias de hasta 10,6 kg de PV de promedio entre ganaderías, lo que se explicó por un manejo claramente diferenciado entre explotaciones, tanto a nivel de alimentación como de ubicación geográfica.

En el presente estudio se trató de caracterizar la raza Ojinegra de Teruel y su potencial productivo mediante los registros de distintas ganaderías representativas que operaban con un sistema de explotación similar. Sin embargo, el factor explotación resultó ser el más determinante. En todos los casos, la va-

rianza explicada por la explotación fue muy superior a la explicada por el conjunto de los efectos fijos. Al comparar las diferencias de PVp por el efecto de la "época de parto" la variación es de 4,5 kg (invierno; 41,2 kg vs. verano; 45,7 kg); sin embargo, el factor "explotación", fue mucho más determinante, llegando a explicar hasta casi el 31% de la variación. La ganadería con el menor PVp alcanzó 38,6 kg y la de mayor 49,4 kg, lo que supone unas diferencias de hasta 10,8 kg. Esa diferencia de PV es muy similar a la detectada por Olleta (1988). En el caso de la CC al parto, el factor "explotación" también es responsable de gran parte de la variabilidad existente. Al comparar el efecto de la "época de parto" sobre la CCp, hay unas diferencias de 0,14 puntos (verano; 2,62 vs. otoño; 2,48). La variación observada entre ganaderías puede suponer hasta 0,48 puntos (2,26 vs. 2,74), lo que significa un incremento de un 21% en la puntuación de la CC. Los parámetros de PVnac y GMD referentes a la producción de corderos ofrecen resultados en la misma línea. En ambos casos, el factor explotación es el máximo responsable de la variabilidad en los resultados. La diferencia de peso PVnac derivado del sexo del cordero, por ejemplo, supone 0,16 kg, o 0,47 kg en el caso del tipo de parto; dependiendo de la explotación, el promedio de PVnac puede variar en hasta 0,66 kg, lo que representa un peso un 20,5% superior entre la explotación con menor registro y el superior. La GMD muestra diferencias de 11 y 25 g/día para los efectos "sexo" y "tipo de parto", respectivamente. Sin embargo, las diferencias que pueden aparecer por el efecto "explotación" son de hasta 45 g/día; eso supondría un crecimiento un 31% superior entre la peor y la mejor ganadería.

Dos motivos principales podrían explicar la heterogeneidad existente entre explotaciones: 1) el manejo técnico del rebaño; 2) las diferencias genéticas entre rebaños. En ovino de carne la componente genética de los ca-

racteres pre-destete explica menos del 20% de la variabilidad total (Safari et al., 2005) e incluso menos del 10% aún en condiciones de una granja experimental (Näsholm y Dannel, 1996) lo que ilustra el gran efecto del ambiente sobre los resultados productivos del ovino. En el caso del sistema de producción de la oveja Ojinegra, con uso de recursos pastorales y estrategias de alimentación en establo diversas, la componente explotación se demuestra crucial para los resultados de la raza. Por otro lado, la posible desconexión entre rebaños por la inexistencia de un esquema de mejora, puede haber dado lugar a diferencias en el nivel genético de las explotaciones que pueden contribuir también a el efecto explotación descrito.

Implicaciones

Con los resultados obtenidos se observa que los crecimientos de los corderos de la raza Ojinegra de Teruel son relativamente bajos en comparación con otras razas. Sería necesario realizar otros estudios productivos para poder conocer las causas de estos bajos crecimientos. Además, los resultados demuestran que el factor ganadería tiene un papel determinante en la variabilidad de los resultados y condiciona los rendimientos técnicos. Es por ello que debe ser considerado en el diseño de ensayos de caracterización productiva de las razas, y a la hora de plantear estrategias o alternativas de mejora en los sistemas de producción y comercialización.

Agradecimientos

El presente estudio se enmarca dentro de un proyecto INIA-PET2006-06-C03, fruto de la colaboración entre el Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón, el

Centro de Mejora Ganadera del gobierno de Aragón y los ganaderos pertenecientes a la Asociación Ganadera de Raza Ojinegra de Teruel (AGROJI).

Bibliografía

- Abecia JA, Forcada F, Zaragoza DL, 2003. Efectos de la nutrición sobre los parámetros reproductivos (I). Efectos a largo y medio plazo. 67-78. Jornadas sobre reproducción ovina. Junta de Extremadura. Consejería de Agricultura y Medio Ambiente.
- Álvarez-Rodríguez J, Sanz A, Ripoll-Bosch R, Joy M, 2010. Do alfalfa grazing and lactation length affect the digestive tract fill of light lambs? *Small Ruminant Research*, 94, 109-116.
- Álvarez-Rodríguez J, Estopañan G, Sanz A, Dervishi E, Tamanini C, Joy M, 2012. Carry-over effects of body condition in the early pregnant ewe on peri-partum adipose tissue metabolism. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. DOI: 10.1111/j.1439-0396.2011.01210.x
- Arrufat A, 1982. Crecimientos medios de los corderos de la raza Ojinegra. Aportaciones al estudio de la Raza Ojinegra. VII Jornadas Científicas de la Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia. 441-446. Murcia, España.
- Bocquier F, Theriez M, Prache S, Brelut A, 1990. Alimentación de ovinos. 225-252. En: Alimentación de bovinos, ovinos y caprinos. INRA. Ediciones Mundi-Prensa.
- BOE, 2006. Reglamento de la Indicación Geográfica Protegida "Ternasco de Aragón". Boletín Oficial del Estado (BOE) núm. 200, del 22 de agosto: 30928-30929
- Carrasco S, Ripoll G, Panea B, Álvarez-Rodríguez J, Joy M, 2009. Carcass tissue composition in light lambs: Influence of feeding Systems and prediction equations. *Livestock Science*, 126, 112-121.
- Casasús I, San Juan L, Bergua A, Olleta JL, Revilla R, 1994. La oveja Churra Tensina: Caracterización productiva y reproductiva. XIX Jornadas Científicas de la Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia. 401-408. Burgos, España.

- FAO, 1998. Secondary Guidelines for Development of National Farm Animal Genetic Resources Management: Management of small populations at risk. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Flores N, Nuez T, Rodríguez J, Delgado, I, 2002. Tipología de las explotaciones ovinas en el maestrazgo turolense. XXVII Jornadas Científicas y IV Internacionales de la Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia. 844-849. Valencia, España.
- Gandini G, Oldenbroek K, 2007. Strategies for moving from conservation to utilization. 29-54. In: Oldenbroek, K (Ed.). Utilisation and conservation of farm animal genetic resources. Wageningen Academic Publishers. Wageningen, The Netherlands.
- Hoffmann I, 2010. Climate change and the characterization, breeding and conservation of animal genetic resources. *Animal Genetics*, 41(1), 32-46.
- Joy M, Álvarez-Rodríguez J, Revilla R, Delfa R, Ripoll G, 2008. Ewe metabolic performance and lamb carcass traits in pasture and concentrate-based production systems in Churra Tensina breed. *Small Ruminant Research*, 75, 24-35.
- Joy M, Sanz A, Ripoll G, Panea B, Ripoll-Bosch R, Blasco I, Álvarez-Rodríguez J, 2012. Does forage type (grazing vs hay) fed to ewes before and after lambing affect suckling lambs performance, meat quality and consumer purchase intention? *Small Ruminant Research*, 104, 1-9.
- Lara S, Picazo R, Arrufat A, Abril F, 2000. Raza ojinegra: Situación actual y perspectivas. XXV Jornadas Científicas y IV Internacionales de la Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia. 235-240. Teruel, España.
- MARM, 2009. Anuario de estadística 2008. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid, España. p. 1150.
- Molina A, Gallego L, Plaza M, Gómez C, 1991. The evolution of body condition score of Manchega breed ewes according to lambing season and birth type, and its effects on lamb growth. *Options Méditerranéennes – Série Séminaires*, 13, 77-84.
- Näsholm A, Danell Ö, 1996. Genetic relationships of lamb weight, maternal ability, and mature ewe weight in Swedish finewool sheep. *Journal of Animal Science*, 74(2), 329-339.
- Olleta JL, 1988. Estudio etnológico y fisiocotécnico de la raza ovina Churra Tensina del Pirineo Aragonés. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza. p. 374.
- Oregui LM, Bravo MV, Gabiña D, 2004. Relación entre el estado de carnes y parámetros reproductivos y productivos en ovejas Latxas. *Archivos de Zootecnia*, 53, 201, 47-58.
- Osgerby JC, Gadd TS, Wathes DC, 2003. The effects of maternal nutrition and body condition on placental and foetal growth in the ewe. *Placenta*, 24, 236-247.
- Picazo R, Lara S, Fuentes P, González A, Herrera M, 2004. Raza ovina Ojinegra. 1. Caracteres cuantitativos morfoestructurales. XXIX Jornadas Científicas y VIII Internacionales de la Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia. 380-382. Lleida, España.
- Ripoll R, Blasco I, Picazo R, Congost S, Bernués A, Panea B, Ripoll G, Revilla R, Casasús I, Gracia A, Andrés A, Gracia B, Vijil E, Joy M, 2010. Evaluación y caracterización de las explotaciones ovinas de raza ojinegra de teruel. FEAGAS. 35: 102-111.
- Ripoll-Bosch R, Álvarez-Rodríguez J, Blasco I, Joy M, 2010. Influence of body condition at lambing on milk yield and quality and growth of suckling lambs in Ojinegra sheep breed. Book of Abstracts of the 61st Annual Meeting of the European Association for Animal Production, No. 16, 183. Heraklion, Greece.
- Russel AJF, Doney JM, Gunn RG, 1969. Subjective assessment of body fat in live sheep. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*. 72: 451-454.
- Safari E, Fogarty NM, Gilmour AR, 2005. A review of genetic parameter estimates for wool, growth, meat and reproduction traits in sheep. *Livestock Production Science*, 92(3), 271-289.
- Sierra I, 2002. Razas aragonesas de ganado. Gobierno de Aragón, Departamento de Agricultura. Zaragoza, España. p. 125.
- Woolliams J, Toro M, 2007. What is genetic Diversity? 55-74. In: Oldenbroek, K (Ed.). Utilisation and conservation of farm animal genetic resources. Wageningen Academic Publishers. Wageningen, The Netherlands.

(Aceptado para publicación el 2 de abril de 2012)

Duración de la incubación artificial en perdiz roja (*Alectoris rufa*)

P. González-Redondo¹, R. Gutiérrez-Escobar, R. Díaz-Merino, P. Panea-Tejera y A.R. Martínez-Domínguez

Departamento de Ciencias Agroforestales. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica. Universidad de Sevilla. Ctra. de Utrera km 1, 41013 Sevilla, España

Resumen

La incubación artificial de los huevos es una fase del manejo clave para la viabilidad de las granjas cinegéticas de perdiz roja (*Alectoris rufa*). Sin embargo, la duración de la incubación artificial y la dispersión de las eclosiones no han sido previamente cuantificadas en esta especie. Con este objetivo se analizaron cuatro ensayos de incubación artificial de huevos de perdiz roja procedentes de tres granjas cinegéticas del sur de España realizados incluyendo variabilidad de factores de manejo de los reproductores y de la incubación. La duración media de la incubación fue de 23,4 días, difiriendo entre ensayos ($P = 0,004$), con un valor modal de 23 días y finalizando la mayoría de las eclosiones (percentil 95) el día 24,5 de incubación. La eclosión mostró una distribución asimétrica positiva y leptocúrtica, como corresponde al patrón de eclosión de las especies precociales. Las eclosiones, que pueden comenzar el día 21,5 y finalizar el día 26 de incubación, se extendieron en promedio durante cuatro días, periodo mayor que el descrito en la literatura divulgativa probablemente porque en el presente estudio los huevos no estuvieron en contacto entre sí, lo que pudo limitar la sincronía en la eclosión. Los resultados de este estudio son útiles para conocer la distribución de la eclosión en las granjas cinegéticas de perdiz roja, posibilitando la mejora del manejo de los lotes de huevos en la nacedora.

Palabras clave: *Alectoris rufa*, perdiz roja, incubación artificial, granjas cinegéticas, huevo.

Summary

Length of the artificial incubation in red-legged partridge (*Alectoris rufa*)

The artificial incubation of the eggs is a key management phase for the feasibility of the red-legged partridge (*Alectoris rufa*) game farms. However, the length of the artificial incubation and the spreading pattern of the hatching have not been previously quantified in this species. To this end, four trials of artificial incubation of eggs from three red-legged partridge game farms located in southern Spain were analysed. The trials included a wide range of variability with regard to management of breeders and incubation process. The average length of the incubation period was 23.4 days, with differences among trials ($P = 0,004$), showing a modal value of 23 days. Most of the chicks (percentile 95) hatched before 24.5 days of incubation. The distribution of the hatch was leptokurtic and showed positive asymmetry, fitting with the hatching pattern of the precocial species. The hatching, that can start on day 21.5 and finish on day 26 of incubation, were spread over four days on average. This period was longer than that described in the informative literature, probably because in the present study the eggs were not

1. Autor para correspondencia: pedro@us.es

in contact with each other, which could have limited the hatching synchrony. The results of the present study are useful to understand the distribution of hatching in the red-legged game farms, enabling improved management of the batches of eggs in the hatchery.

Key words: *Alectoris rufa*, red-legged partridge, artificial incubation, game farming, egg.

Introducción

En España, las granjas cinegéticas de perdiz roja (*Alectoris rufa*) constituyen un subsector ganadero alternativo con cuatro décadas de existencia (González-Redondo, 2004), consolidado con medio millar de explotaciones (Sánchez García-Abad et al., 2009; Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2011) de muy diverso tamaño y especialización tecnológica y comercial (González-Redondo et al., 2010). A pesar de la importancia de la producción de esta especie no sólo en España sino también en países como Francia, Portugal e Italia, permanecen aún por investigar de modo racional diversos aspectos del manejo de la incubación artificial de los huevos, que es una fase clave del manejo que repercute en la viabilidad de las granjas cinegéticas (Pérez y Pérez, 1981; González-Redondo, 2004; González-Redondo y De la Rosa-Sánchez, 2009; González-Redondo, 2010). En efecto, las publicaciones divulgativas recogen de modo genérico un rango de duración de la incubación artificial de los huevos de perdiz roja de 23 a 25 días (Lara y Arenzana, 1965: 23,5 días; Flores, 1979: 23,5; Llauradó, 1987: 24; Cancho, 1991: 23; Setién, 1991: 24-25; Saperas, 1992: 23; Peña y Caballero, 1997: 23; García Martín y Dalmau, 2003: 23-24), pero no se han publicado evidencias experimentales que cuantifiquen con precisión la duración media de la incubación y describan el patrón de dispersión temporal de las eclosiones de los huevos de una misma carga en la incubadora. Sin embargo, para los perdicultores esa información es útil para planificar el manejo de la nacedora ya que permite conocer cuándo comienzan las pri-

meras eclosiones y el intervalo de tiempo durante el que se distribuyen hasta que finaliza la cola de eclosiones de un lote de huevos procedente de una carga de la incubadora, que generan un lote de perdigones que usualmente se crían conjuntamente (Llauradó, 1987; Peña y Caballero, 1997). Por esto, el objetivo de este trabajo fue investigar la duración de la incubación de huevos de perdiz roja y el patrón de dispersión temporal de las eclosiones en varios ensayos representativos de condiciones diversas de manejo en granjas cinegéticas españolas.

Materiales y métodos

El estudio incluyó cuatro ensayos de incubación diferentes con el fin de considerar la amplia variabilidad en la duración de la incubación que pueden causar diferentes orígenes de los huevos y variaciones en el manejo de los reproductores y de la incubación (Martínez-Alesón, 2003). Habida cuenta de la estacionalidad reproductiva de la especie (González-Redondo, 2006), los ensayos incluyeron diversas fechas de puesta y, por tanto, de incubación.

Material animal

- Ensayo 1: Se usaron huevos procedentes de una granja cinegética del norte de la provincia de Córdoba (España). Procedían de perdices de uno a siete años de edad explotadas con fotoperiodo natural. Los huevos se cargaron en la incubadora el 21 de mayo de 2007 y habían sido puestos en

fechas comprendidas entre uno y siete días antes de su incubación.

- Ensayo 2: Se utilizaron huevos procedentes de una granja cinegética del centro de la provincia de Córdoba. Procedían de perdices de dos y tres años de edad sometidas a suplementación artificial del fotoperiodo. Los huevos se cargaron en la incubadora el 23 de abril de 2007 y habían sido puestos en fechas comprendidas entre uno y 35 días antes de su incubación, periodo durante el que se conservaron a 15 °C y 80% de humedad relativa (HR) volteándolos dos veces al día a intervalos regulares.
- Ensayo 3: Se usaron huevos procedentes de la granja del ensayo 2, también de perdices de dos y tres años de edad. Los huevos se cargaron en la incubadora el 1 de junio de 2010 y habían sido puestos en fechas comprendidas entre uno y tres días antes de su incubación.
- Ensayo 4: Se utilizaron huevos procedentes de una granja cinegética del norte de la provincia de Sevilla (España). Procedían de perdices de dos y tres años de edad sometidas a suplementación artificial del fotoperiodo. Los huevos se cargaron en la incubadora el 4 de abril de 2011 y habían sido previamente conservados a 15 °C y 80% HR durante dos semanas, periodo en el que fueron volteados con frecuencias de ninguna, una, cuatro o 24 veces al día, según el sublte. Los huevos fueron puestos en fechas comprendidas entre uno y tres días antes de comenzar el periodo de conservación.

En todas las granjas las perdices se alojaban por parejas en jaulas situadas al aire libre y recibían pienso compuesto ($\approx 20\%$ PB) y agua *ad libitum*.

Incubadoras y nacedoras

Las incubaciones de los cuatro ensayos se realizaron en el Laboratorio de Incubación de la

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica de la Universidad de Sevilla. Se utilizaron las siguientes máquinas:

- Incubadora 25 HS (Masalles®, Ripollet, España). Se utilizó como incubadora para todos los huevos de los cuatro ensayos y como nacedora para una parte de los huevos en el ensayo 3.
- Incubadora 1-2 SA (Maino Enrico®, Oltrona di San Mamette, Italia). Se utilizó como nacedora para todos los huevos de los ensayos 1, 2 y 4, y para una parte de los huevos del ensayo 3.
- Incubadora MG 50H (FIEM®, Guanzate, Italia). Se utilizó como nacedora para una parte de los huevos del ensayo 3.

Manejo de las incubaciones

Antes de cargarlos en la incubadora, los huevos de todos los ensayos se identificaron individualmente y se atemperaron en la sala de incubación a 23 °C y 65% HR durante 10-12 horas para realizar gradualmente el cambio de la temperatura de conservación a la de incubación que evitase un choque térmico (Llauradó, 1987; Cancho, 1991; Setién, 1991) y la condensación de vapor de agua sobre la superficie del huevo (Saperas, 1992).

En la fase de incubación, los huevos se mantuvieron a 37,8 °C y 55% HR en los cuatro ensayos, siendo volteados con una frecuencia horaria. Los huevos permanecieron en la incubadora durante 21 días en los ensayos 1, 2 y 4 y durante 20 días en el ensayo 3, transfiriéndose entonces a la nacedora.

En la fase de nacedora, los huevos se colocaron individualmente en cestitas con planta en forma de triángulo rectángulo isósceles de 5 cm de cateto que no permitían el contacto entre huevos y facilitaban el registro del momento de eclosión de cada polluelo. Los huevos no se volteaban y se mantuvieron a 37,5 °C

y 70-80% HR en los ensayos 1, 2 y 4. Los huevos del ensayo 3 se mantuvieron a una humedad relativa de 70-80% y a temperaturas de 37,0, 37,4 y 37,8 °C según el sublote.

En todos los ensayos se registró el momento de eclosión de cada huevo mediante la realización de controles de la nacedora a intervalos regulares de 12 horas. Se consideraba que un huevo había eclosionado si el pollo había salido completamente del cascarón y se le atribuía una duración de la incubación igual al intervalo de tiempo transcurrido entre la carga de la incubadora y el control de la nacedora en el que se descubría el pollo fuera del cascarón. No se ayudó a eclosionar a ningún polluelo.

Análisis estadísticos

Sólo se incluyeron en el análisis los huevos que eclosionaron. Cada ensayo se consideró como un lote experimental. Se calcularon, para cada ensayo separadamente y para los cuatro conjuntamente, los siguientes estadísticos de la duración de la incubación: media, error típico (ET) de la media, moda, percentiles P_{50} , P_{90} , P_{95} y P_{99} , coeficiente de asimetría (g_1 , y su ET) y coeficiente de curtosis (g_2 , y su ET). Para analizar la existencia de diferencias en la duración de la incubación entre los ensayos se realizó una prueba de Kruskal-Wallis, y para determinar entre qué ensayos existían diferencias en la duración de la incubación se realizó una prueba post hoc de comparaciones múltiples C de Dunnett. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa SPSS 15.0 (SPSS Inc., 2006).

Resultados y discusión

Considerando los cuatro ensayos conjuntamente, la incubación artificial de los huevos de perdiz roja duró en promedio 23,4 días (Tabla

1). Dicha duración media se situó dentro del rango de 23 a 24 días señalado en numerosas publicaciones divulgativas y prácticamente coincidió con los 23,5 días de duración indicados por Lara y Arenzana (1965) en las primeras experiencias científicas de cría de esta especie en cautividad realizadas en España, y también señalados como duración media exacta por Flores (1979) para la incubación artificial de los huevos de la especie.

Se observaron diferencias ($P = 0,004$) en la duración media de la incubación entre los cuatro ensayos (Tabla 1), variando entre el menor valor (23,2 días) del ensayo 3 en el que difirieron las temperaturas en las nacedoras y el mayor valor (23,5) del ensayo 2 en el que los huevos se conservaron durante un periodo más largo de lo habitual antes de su incubación. Dichas diferencias sugieren que diversos factores relacionados con los reproductores, con la granja de origen y con el manejo de la incubación pueden afectar a la duración de la incubación artificial de los huevos de perdiz roja. De hecho, se sabe que en gallinas, pavos y otras especies el tiempo medio de incubación varía en función de factores como la genética y sanidad de las reproductoras, el tamaño del huevo y el grosor de su cáscara, el tiempo de conservación de los huevos antes de incubarlos, el precalentamiento de los mismos antes de cargarlos en la incubadora y la temperatura media de incubación, principalmente (Olsen, 1942; MacLaury e Insko, 1968a; Christensen *et al.*, 2000; Martínez-Alesón, 2003). Así, los huevos del ensayo 2 fueron los que mostraron mayor duración de la incubación (Tabla 1), debido probablemente a que se conservaron durante periodos de entre uno y 35 días antes de incubarlos, y se conoce que en gallinas a mayor duración del periodo de conservación de los huevos, mayor duración del periodo de incubación (MacLaury e Insko, 1968a; Martínez-Alesón, 2003). En efecto, aunque los huevos de perdiz roja pueden conservarse antes

Tabla 1. Estadísticos de la duración de la incubación artificial (días) de huevos de perdiz roja
Table 1. Statistics of the length of the artificial incubation (days) of red-legged partridge eggs

Ensayo	Huevos (N)	Media $\pm$ ET ¹	Moda	P ₅₀	P ₉₀	P ₉₅	P ₉₉	Asimetría (g ₁ $\pm$ ET)	Curtosis (g ₂ $\pm$ ET)
1	131	23,3 $\pm$ 0,1 a,b	23,0	23,0	24,0	24,5	26,0	0,6 $\pm$ 0,2	0,7 $\pm$ 0,4
2	117	23,5 $\pm$ 0,1 a	24,0	24,0	24,0	24,5	25,0	-0,4 $\pm$ 0,2	-0,6 $\pm$ 0,4
3	96	23,2 $\pm$ 0,1 b	23,0	23,0	24,0	24,0	24,5	0,9 $\pm$ 0,2	2,3 $\pm$ 0,5
4	115	23,4 $\pm$ 0,1 a,b	23,5	23,5	24,5	24,5	25,5	0,7 $\pm$ 0,2	0,6 $\pm$ 0,4
Total	459	23,3 $\pm$ 0,0	23,0	23,5	24,0	24,5	25,5	0,5 $\pm$ 0,1	0,5 $\pm$ 0,2

ET: error típico; g₁: coeficiente de asimetría de Fisher; g₂: coeficiente de curtosis. P_i: percentil i-ésimo.

¹ Duraciones medias de la incubación acompañadas de letras distintas son significativamente diferentes al nivel P < 0,05.

de incubarlos hasta 28 días sin pérdida acusada de viabilidad si se hace en condiciones adecuadas (González-Redondo, 2010), periodos de conservación superiores a una o dos semanas no son usuales ni recomendados en las granjas cinegéticas de perdiz roja (Cancho, 1991; Setién, 1991; Saperas, 1992; Peña y Caballero, 1997; García Martín y Dalmau, 2003) y de nuestros resultados se infiere que podrían afectar a la duración de la incubación. Por otra parte, los huevos del ensayo 3 mostraron la menor duración de la incubación (Tabla 1) probablemente como consecuencia de que dos tercios de ellos se mantuvieron en las nacedoras a temperaturas inferiores (37,0 y 37,4 °C) a las de las incubaciones de los demás ensayos (37,5 °C), y se conoce que una menor temperatura de incubación retarda el momento de eclosión en huevos de gallina y pavo (Christensen et al., 1996; Martínez-Alesón, 2003) y de perdiz roja, mientras que en esta última especie el exceso de calor en la incubación hace que la eclosión sea prematura y sobre todo muy larga (Setién, 1991).

La mayoría de los huevos eclosionaron a los 23 días, si bien se observaron variaciones entre los 23 días de los estudios 1 y 3 y los 24 días del estudio 2 (Tabla 1). Dichos valores modales coinciden, de nuevo, con el rango de 23 a 24 días citado mayoritariamente en la literatura para la duración de la incubación artificial de huevos de perdiz roja.

Se constató que la eclosión de los huevos mostraba una cierta dispersión en torno al valor promedio de duración de la incubación (Figuras 1 y 2). En efecto, considerando los huevos de los cuatro ensayos conjuntamente (Figura 1), las eclosiones comenzaron el día 21,5 y finalizaron el día 26, lo que implica que las eclosiones de un mismo lote de huevos pueden suceder a lo largo de más de cuatro días. En todo caso, existió variabilidad en este patrón de distribución de las eclosiones entre los cuatro ensayos (Figura 2), que comenzaron entre el día 21,5 (ensayo 1) y

22,5 (ensayo 4) y finalizaron entre el día 25 (ensayo 2) y 26 (ensayos 1 y 4) de incubación. Nuestros resultados coincidieron, para el ensayo 1 (Figura 2) con lo descrito por Saperas (1992) quien afirma que los perdigones empiezan a nacer a partir de las últimas horas del vigésimo segundo día de incubación, pero no coincidieron con otros autores que afirman que los primeros pollos nacen hacia el día 23 (Llauradó, 1987) ó 23 y algunas horas (Pérez y Pérez, 1981; Setién, 1991), pues en nuestro ensayo con inicio de eclosión más tardío, el 4, los primeros perdigones nacieron el día 22,5 (Figura 2). Además, los resultados del presente estudio sólo confirman parcialmente las observaciones de García Martín y Dalmau (2003) cuando afirma que 23-24 días después de cargados los huevos en la incubadora puede darse por finalizada la incubación, o de Saperas (1992) quien afirma que los últimos perdigones nacen el día 24 de incubación porque en nuestro caso el 90% de

las eclosiones tuvieron lugar el día 24 de incubación, pero no así el 95% que sucedieron el día 24,5 ni el 99% que ocurrieron el día 25,5 (Tabla 1), prolongándose la cola incluso hasta el día 26 en algunos casos (ensayos 1 y 4; Figura 2). Por tanto, en las condiciones de nuestros ensayos no se confirmó estrictamente la aseveración de algunos autores en el sentido de que los nacimientos ocurren simultáneamente y rápidamente con pocas horas de diferencia si la incubación se lleva a cabo en condiciones adecuadas (Lara y Arenzana, 1965; Pérez y Pérez, 1981; Setién, 1991; Peña y Caballero, 1997). Hay que señalar, sin embargo, que en los ensayos del presente trabajo los huevos no se encontraban en contacto entre sí en la nacedora, mientras que se ha descrito que en las granjas cinegéticas, si se colocan los huevos en las bandejas de la nacedora tocándose unos a otros, se agrupan más las eclosiones en torno al valor promedio debido a que se transmite el picoteo de la

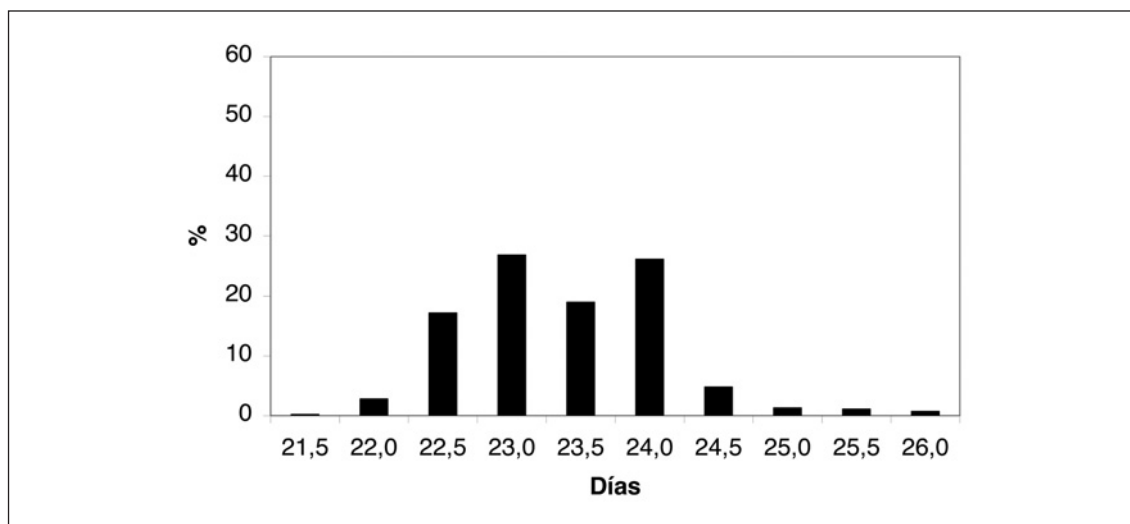


Figura 1. Distribución de la eclosión de huevos de perdiz roja incubados artificialmente. Huevos de los cuatro ensayos considerados conjuntamente (abscisas: tiempo de incubación; ordenadas: porcentaje de huevos eclosionados).

Figure 1. Distribution of the hatching of artificially incubated red-legged partridge eggs. Eggs from the four trials represented jointly (abscissa: length of the incubation; ordinate: percentage of hatched eggs).

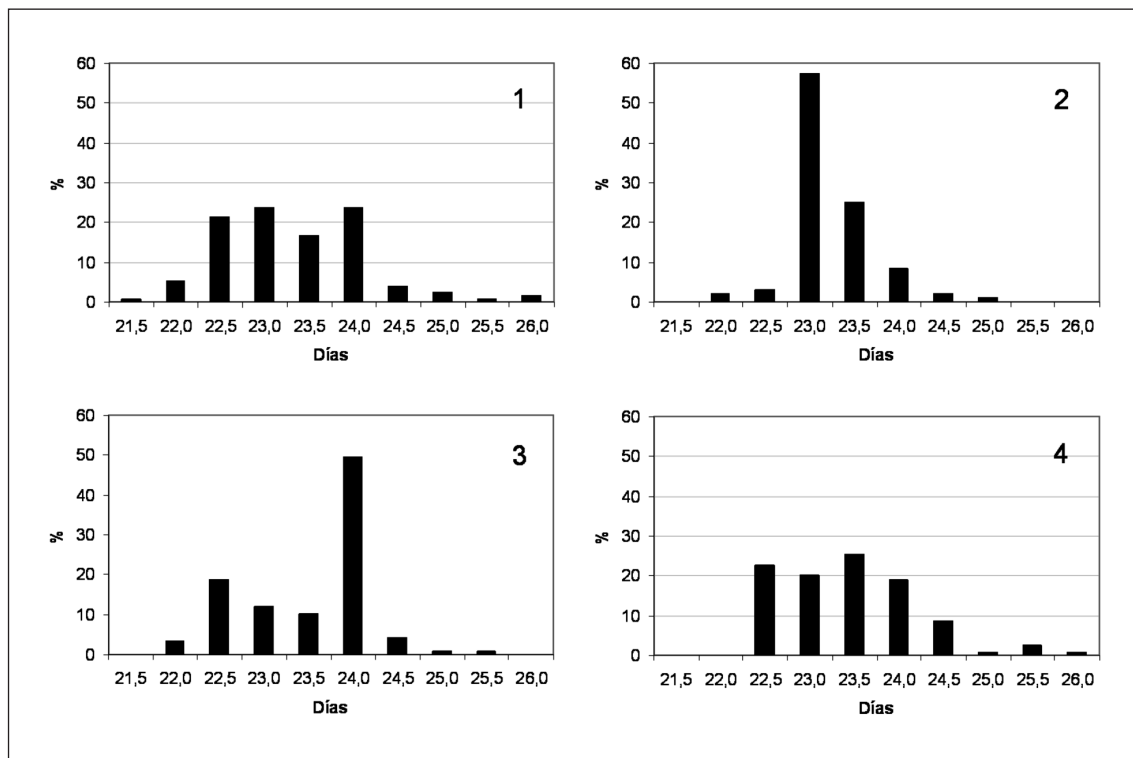


Figura 2. Distribución de la eclosión en los cuatro ensayos de incubación artificial de huevos de perdiz roja (abscisas: tiempo de incubación; ordenadas: porcentaje de huevos eclosionados).

Figure 2. Distribution of the hatching in the four trials of artificial incubation of red-legged partridge eggs (abscissa: length of the incubation; ordinate: percentage of hatched eggs).

cáscara de unos polluelos a otros (Setién, 1991). En efecto, en aves precociales como es la perdiz roja se sabe que el contacto físico de los huevos en el nido propicia la comunicación entre embriones que favorece la eclosión sincronizada en un corto lapso de tiempo (Davies y Cooke, 1983; Persson y Andersson, 1999) para permitir que la hembra abandone rápidamente el nido junto con sus pollos nidífugos aunque queden huevos sin eclosionar (Björvall, 1968; Ballesteros, 1998) como estrategia para evitar el riesgo de predación que comportaría permanecer durante mucho tiempo en el nido como ocurriría si la eclosión se dilatase más en el tiempo (Potts, 1980).

Salvo en el caso del ensayo 2, la curva de eclosión de huevos de perdiz roja incubados artificialmente se caracterizó por ser asimétrica positiva ($g_1 > 0$) y leptocúrtica ($g_2 > 0$) (SPSS Inc., 2006). Esto significa, respectivamente, que la mayor parte de los huevos eclosionan concentrados antes de la duración media de la incubación con una cola derecha larga y que la mayoría de las eclosiones se agrupan en un corto lapso de tiempo en torno al centro de la distribución. Se confirma, por tanto, que en la incubación artificial los huevos de perdiz roja conservan el patrón propio de eclosión sincronizada de las especies precociales en libertad ya descrito.

La variabilidad descrita en la distribución y, en particular, en los valores de la moda, percentiles y extremos de la duración de la incubación de los huevos de perdiz roja según la granja de origen y condiciones de manejo de la propia incubación ilustran la necesidad que tiene cada perdiculador de conocer el patrón de eclosiones de su propia explotación para una adecuada atención a la fase de nacimiento que asegure un óptimo manejo de los perdigones de un día, clave para la viabilidad de la cría. En general, esto implica extraer de la nacedora a todos (Saperas, 1992) o a la mayoría de los perdigones agrupados (Peña y Caballero, 1997) cuando ya han secado el plumón tras varias horas e incluso algún día de permanencia en el interior de la máquina, tiempo durante el que se nutren con las reservas vitelinas (Setién, 1991; Saperas, 1992; Peña y Caballero, 1997). De acuerdo con los resultados del presente estudio, la extracción de la mayoría de los perdigones (el 95%) de la nacedora se podría hacer el día 24,5 de incubación (P_{95} ; Tabla 1). Posteriormente se extraerían los pollos de la cola de eclosiones, que pueden manejarse específicamente (Llauradó, 1987) ya que, como sucede en otras especies, pueden tener menor viabilidad posnatal (MacLaury e Insko, 1968b). Además, sería útil investigar mediante ensayos ad hoc en el caso de la incubación artificial de huevos de esta especie la influencia que tienen, sobre la duración de la incubación y dispersión de la eclosión, factores de manejo tales como el tiempo de conservación de los huevos o la temperatura de incubación, de conocida influencia en otras especies (MacLaury e Insko, 1968a; Christensen et al., 1996; Martínez-Alesón, 2003).

Conclusiones

Este es el primer estudio que investiga la distribución de la duración de la incubación artificial de los huevos en perdiz roja. La incu-

bación dura 23,4 días en promedio cuando los huevos no están en contacto en la nacedora, con eclosiones que se prolongan a lo largo de cuatro días aunque el 95% de los perdigones nacen dentro de los 24,5 días de incubación.

Bibliografía

- Ballesteros F, 1998. Las especies de caza en España. Biología, ecología y conservación. Ed. Estudio y Gestión del Medio. Oviedo.
- Björvall A, 1968. The hatching and nest-exodus behaviour in mallard. *Wildfowl* 19: 70-80.
- Cancho M, 1991. Incubación. Equipo y técnicas de manejo. Control. En: La perdiz roja. Ed. Fundación La Caixa-AEDOS. Barcelona, pp. 21-27.
- Christensen VL, Donaldson WE, Nestort KE, 1996. Interaction of genetics and temperature during the plateau stage of incubation affects the physiology and survival of turkeys. *Poult. Sci.* 75 (Suppl. 1): 77-77.
- Christensen VL, Noble DO, Nestort KE, 2000. Influence of selection for increased body weight, egg production, and shank width on the length of the incubation period of turkeys. *Poult. Sci.* 79: 613-618.
- Davies JC, Cooke F, 1983. Intraclutch hatch synchronization in the lesser snow goose. *Can. J. Zool.* 61: 1398-1401.
- Flores AJ, 1979. Contribución al estudio de algunos caracteres étnicos de la perdiz roja española (*Alectoris rufa*) en cautividad. *Nuestra Cabaña* 76: 48-53.
- García Martín E, Dalmau A, 2003. Reproducción de la perdiz roja y la codorniz. En: Reproducción e incubación en Avicultura. Ed. Real Escuela de Avicultura. Arenys de Mar (Barcelona), pp. 457-495.
- González-Redondo P, 2004. Un caso de cambio en el manejo de los recursos cinegéticos: la historia de la cría en cautividad de la perdiz roja en España. *Rev. Esp. Estud. Agrosoc. Pesq.* 204: 179-203.

- González-Redondo P, 2006. Influence of the laying date on the fertility and hatchability of red-legged partridge (*Alectoris rufa*) eggs. J. Appl. Poult. Res. 15: 579-583.
- González-Redondo P, 2010. Effect of long-term storage on the hatchability of Red-legged partridge (*Alectoris rufa*) eggs. Poult. Sci. 89: 379-383.
- González-Redondo P, De la Rosa-Sánchez S, 2009. Efecto de la duración de la fase de volteo de los huevos de perdiz roja (*Alectoris rufa*) durante la incubación sobre la tasa de eclosión. ITEA 105: 291-295.
- González-Redondo P, Delgado-Pertíñez M, Toribio S, Ruiz FA, Mena Y, Caravaca FP, Castel JM, 2010. Characterisation and typification of the red-legged partridge (*Alectoris rufa*) game farms in Spain. Span. J. Agric. Res. 8: 624-633.
- Lara J, Arenzana O, 1965. La cría y cultivo de la perdiz roja. Experiencias realizadas en los Montes de Mora. Ed. Servicio Nacional de Pesca Fluvial y Caza. Ministerio de Agricultura. Madrid.
- Llauradó LI, 1987. Incubación artificial de huevos de perdiz. Selecciones Avícolas 29: 144-147.
- MacLaury DW, Insko WM, 1968a. Relation of pre-incubation factors and post-hatching performance to length of incubation period: 1. Effects of egg weight and storage time on length of incubation period. Poult. Sci. 47: 305-311.
- MacLaury DW, Insko WM, 1968b. Relation of pre-incubation factors and post-hatching performance to length of incubation period: 2. Relation of length of incubation period to post-hatching performance. Poult. Sci. 47: 330-336.
- Martínez-Alesón R, 2003. Manejo de la sala de incubación. En: Reproducción e incubación en Avicultura. Ed. Real Escuela de Avicultura. Arenys de Mar (Barcelona), pp. 291-314.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2011. El sector de la carne de aves en cifras. http://www.marm.es/app/vocwai/documentos/Adjuntos_AreaPublica/INDICADORES%20ECON%C3%93MICOS%20CARNE%20DE%20AVES%202010.pdf
- Olsen MW, 1942. The effect of age and weight of turkey eggs on the length of the incubation period. Poult. Sci. 21: 532-535.
- Peña JC, Caballero JR, 1997. La explotación cinegética de la perdiz. En: Buxadé C (coord. y dir.). Zootecnia. Bases de Producción Animal. Tomo XII: Producciones Cinegéticas, Avícolas y Otras. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, pp. 87-108.
- Pérez y Pérez F, 1981. La perdiz roja española. Ed. Científico-Médica. Barcelona.
- Persson I, Andersson G, 1999. Intraclutch hatch synchronization in pheasants and mallard ducks. Ethology 105: 1087-1096.
- Potts G, 1980. The effects of modern agriculture, nest predation and game management on the population ecology of partridges (*Perdix perdix* and *Alectoris rufa*). Adv. Ecol. Res. 11: 1-79.
- Sánchez García-Abad C, Alonso ME, Prieto R, González V, Gaudioso VR, 2009. Una visión sobre la avicultura para la producción de caza en España. ITEA 105: 169-183.
- Saperas JM, 1992. Manejo del huevo de perdiz roja en instalaciones cinegéticas. Mundo Ganadero 11: 76-78.
- Setién M, 1991. Producción cinegética: granjas de perdices. En: Fuentes A, Sánchez I, Pajuelo L (coords.). Manual de ordenación y gestión cinegética. Ed. IFEBA. Badajoz, pp. 133-152.
- SPSS Inc, 2006. Manual del Usuario de SPSS Base 15.0. SPSS Inc. Chicago, EE.UU.

(Aceptado para publicación el 24 de abril de 2012)

Producción de leche y crecimiento de corderos en la raza Ojinegra de Teruel

R. Ripoll-Bosch^{*,1}, J. Álvarez-Rodríguez^{**}, I. Blasco^{*}, R. Picazo^{***} y M. Joy^{*}

* Unidad de Tecnología en Producción Animal. Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria (CITA), Avda. Montañana, 930, 50059 Zaragoza

** Departament de Producció Animal, Universitat de Lleida. Avda. Rovira Roure, 191, 25198 Lleida

*** Asociación de Ganaderos de Raza Ojinegra, 44556 Molinos, Teruel.

Resumen

El presente trabajo pretende caracterizar la capacidad productiva de las ovejas de la raza Ojinegra a dos niveles de condición corporal (CC; BAJA, ≤ 2.50 vs. ALTA, > 2.50) y evaluar el crecimiento de sus corderos para la producción de corderos del tipo lechal (10-12 kg de peso vivo a 45 días de edad máxima). Para el ensayo se utilizaron 58 ovejas Ojinegras de Teruel con parto en invierno. La ración provista fue de 1 kg de pienso al día y paja de cereal a voluntad. Se registró el peso vivo (PV) de ovejas y corderos semanalmente durante las seis semanas de lactación, y la CC de las ovejas en el parto, a mitad de lactación (3ª semana) y al destete (6ª semana). De estas ovejas se eligió al azar un grupo de 22 ovejas para llevar a cabo el estudio de la producción de leche y concentraciones de metabolitos en sangre relacionados con el balance energético (ácidos grasos no esterificados, AGNE, y β -hidroxibutirato, BHB). Los resultados mostraron que el PV de la oveja Ojinegra ($49,0 \pm 1,5$ kg) se vio afectado por la semana de lactación ($P < 0,001$) pero no por la CC al parto de las ovejas ($P > 0,05$). Los contenidos de AGNE y BHB en sangre durante la lactación no se vieron afectados por la CC al parto ($p > 0,05$), mostrando valores medios de AGNE y BHB de $0,30 \pm 0,06$ y $0,54 \pm 0,02$ mmol/l, respectivamente. Sin embargo, los AGNE sí decrecieron significativamente a medida que avanzaba la lactación ($P < 0,001$). En cuanto a la producción de leche, no estuvo condicionada ni por la semana de lactación ni por la CC de las ovejas al parto ($P > 0,05$), obteniéndose una producción media de leche de 813 g/día (producción estándar de 702 ml/día). La ganancia media diaria (GMD) de los corderos durante la lactación fue independiente de la CC de la oveja al parto (148 vs. 154 ± 9 g/día, en ALTA vs. BAJA, $P > 0,05$). El peso medio de los corderos en el momento del destete fue de $9,6 \pm 0,3$ kg. De este trabajo se puede concluir que la producción de leche de las ovejas de raza Ojinegra de Teruel es moderada, permitiendo un crecimiento limitado de los corderos que puede condicionar el cumplimiento de la edad máxima para alcanzar el peso de la categoría lechal (45 días hasta 10-12 kg). Estos resultados deberían ser contrastados con futuros estudios que evalúen la capacidad lechera y maternal de dicha oveja con distintos sistemas de manejo y alimentación.

Palabras clave: Ovejas, peso vivo, condición corporal, metabolitos sanguíneos, cordero lechal.

Abstract

Milk production and lamb growth in Ojinegra sheep breed

The aim of this study was to characterize the productive potential of the Ojinegra sheep breed at two levels of body condition score (BAJA, ≤ 2.50 vs. ALTA, > 2.50), so that to prospect the production of suckling lambs (10-12 kg live weight at a threshold of 45 days old). Fifty-eight winter-lambing Ojinegra ewes

1. Autor para correspondencia: rripoll@aragon.es

were used. Ewes were stalled indoors and fed 1 kg of concentrate per day and cereal straw ad libitum. Live weight (PV) of ewes and lambs were registered weekly during lactation (6 weeks). Body condition score (CC) of ewes was measured at lambing and at weeks 3 and 6 of lactation. Twenty-two ewes were randomly selected to evaluate milk production and blood metabolites related with energy balance (non-esterified fatty acids, AGNE, and β -hydroxybutyrate, BHB). Ewes' PV after lambing was affected by the week of lactation ($P < 0.001$), but not by ewes' CC (49.0 ± 1.5 kg; $P > 0.05$). Blood AGNE and BHB contents were not affected by CC at lambing ($P > 0.05$), with mean values of 0.30 ± 0.06 and 0.54 ± 0.02 mmol/l for AGNE and BHB respectively. However, AGNE concentration decreased during lactation ($P < 0.001$). Week of lactation and CC at lambing had no effect on milk production ($P > 0.05$); with mean milk production of 813 g/day (mean standardized production 702 ml/day). The average daily gain (ADG) of lambs was not affected by ewes' CC at lambing (148 vs. 154 ± 9 g/day, for ALTA vs. BAJA, respectively; $P > 0.05$). The average PV of lambs at weaning was 9.6 ± 0.3 kg. In conclusion, milk production of Ojinegra sheep breed is moderate and it might condition the attainment of target 10-12 kg live-weight for suckling lamb category at a maximum age of 45 days old. These results should be confirmed in future studies, assessing the maternal capacity of Ojinegra ewe under diverse management and feeding systems.

Key words: Ewes, live weight, body condition score, blood metabolites, suckling lambs.

Introducción

El sector ovino se encuentra ante una situación crítica debido a un proceso de reestructuración que se ha alargado durante décadas. En España, en los últimos diez años, se ha producido un descenso tanto en el número de explotaciones ovinas (-23,0%; INE, 2011) como de cabezas de ganado (-17,7%; FAO, 2011). En este mismo periodo, se ha registrado un incremento en los precios de los insumos (cereales y piensos, combustibles, fertilizantes, etc.), mientras que el precio del cordero se ha mantenido (alrededor de los 2,8 euros/kg de peso vivo, PV; MARM, 2009) y el consumo de carne per cápita ha descendido notablemente (-25,5%; FAO, 2011). Como consecuencia de ello, los márgenes de los ganaderos de ovino en Aragón se han reducido en torno a un 26% (Pardos y Fantova, 2009), lo que compromete la viabilidad económica de las explotaciones. Es por ello que su futuro parece cada vez más directamente relacionado con su vinculación al territorio, con la explotación de razas autóctonas y con la obtención de productos diferenciados y de alta calidad obtenidos de ellas (De Rancourt *et al.*, 2006).

La raza autóctona Ojinegra de Teruel tiene un censo de 30.000 cabezas y tiene un importante papel económico, social y medioambiental en la comarca del Maestrazgo y otras zonas colindantes (Lara *et al.*, 2000; Picazo *et al.*, 2004). Perfectamente adaptada a un territorio duro y extremo, la raza se ha mantenido gracias al trabajo de los ganaderos que integran la Asociación de Ganaderos de Raza Ojinegra (AGROJI). Sin embargo, es una raza de pequeño formato, con un engrasamiento precoz (Sierra, 2002) y con bajos crecimientos (Ripoll-Bosch *et al.*, 2012), lo que podría estar relacionado con un limitado nivel de producción de leche de la oveja, dada la correlación existente entre la producción y composición de la leche y el crecimiento del cordero (Torres-Hernández y Hohenboken, 1980). Estas características condicionan la adaptación de sus productos a las características solicitadas por el reglamento técnico de la IGP "Ternasco de Aragón" (BOA, 2009) y por el mercado (Tor *et al.*, 1999), que exige unas canales con unas determinadas características de peso y estado de engrasamiento.

Este trabajo se planteó por el interés de la asociación de ganaderos AGROJI por obtener

un producto alternativo al cordero tipo ternasco (22-24 kg de peso vivo al sacrificio y 90 días de vida máximo), ofertando un cordero más ligero de tipo lechal (10-12 kg de peso vivo al sacrificio y 45 días de vida máximo) que permitiera evitar el engrasamiento excesivo y se adaptara a las demandas del consumidor. Para ello, el presente estudio tenía como objetivo la evaluación del potencial productivo de las ovejas de raza Ojinegra en condiciones productivas convencionales a dos niveles de condición corporal (CC). Se estudió la producción de leche, la calidad química de la misma y el crecimiento de sus corderos, con el fin de valorar la capacidad de la raza para producir corderos lechales.

Material y métodos

El ensayo se llevó a cabo en el centro de reproducción de la raza Ojinegra de Teruel (CENRO), en Molinos, Teruel (Noreste español, 42° 49'N, 0° 30'W, 927 m, snm). La temperatura media (2005-2010) fue de 14,9 °C, siendo el mes de diciembre el que presentó la temperatura media más baja (5,5 °C) y julio y agosto la temperatura media más alta (25,5 y 23,8 °C, respectivamente). La pluviometría anual fue de 355,6 mm (Oficina del Regante, 2011).

Se utilizaron 58 ovejas gestantes de la raza Ojinegra de Teruel, procedentes de una cubrición de otoño con machos de la misma raza. Los animales fueron criados por AGROJI en las condiciones productivas habituales. Durante el periodo de gestación, las ovejas siguieron el mismo manejo que el rebaño general, basado en un pastoreo guiado durante el día y una estabulación por la noche, donde recibieron una suplementación de paja *ad libitum*. Dos semanas antes de la fecha estimada de inicio de los partos, las ovejas gestantes se estabularon y se distribuyeron al azar en tres corrales con 19-20 ovejas en cada

uno de ellos. Durante ésta fase final de la gestación y a lo largo del periodo de lactación, las ovejas se estabularon y fueron alimentadas con 1 kg de pienso (Tabla 1) por animal y día y paja de cereal a *ad libitum*. Los corderos permanecieron estabulados junto a sus madres y se alimentaron a base de leche materna hasta el destete (6 semanas).

Tabla 1. Composición del pienso utilizado durante la lactación
Table 1. Composition of concentrate used during lactation

Análisis proximal	% sobre MS
Humedad	8,6
Proteína bruta	13,5
Grasa bruta	4,1
Fibra bruta	14,3
Almidón	24,9
Cenizas	6,6
Cálcio	1,04
Fósforo	0,35

Ingredientes (% sobre materia fresca): avena (25,4%), cebada (25%), cascarilla de soja (12%), salvado (10%), harina de girasol 30% (10%), harina de soja (2%), alfalfa (5%), algarrobo (5%), melaza de remolacha (3%), aceite de palma (1%), carbonato cálcico (0,7%), cloruro sódico (0,5%), corrector de ovejas (0,4%).

Durante la primera semana de vida de los corderos, se registró el peso vivo (PV) de las ovejas y de los corderos con una balanza electrónica de precisión ($\pm 0,1$ kg). Posteriormente, dichas medidas se tomaron semanalmente a las 8 h a.m. hasta el destete (6 semanas post-parto). Las ganancias medias diarias (GMD) de los corderos se estimaron a partir de la regresión lineal del PV sobre el tiempo. La condición corporal (CC) de las ovejas se estimó siguiendo las recomenda-

ciones de Russel *et al.* (1969), basado en una escala de puntuación con valores comprendidos entre 1 y 5. Dichas estimaciones fueron realizadas por dos técnicos entrenados y se registraron en el momento del parto, a mitad de lactación (3ª semana) y al destete (6ª semana). Las ovejas se agruparon en dos categorías de acuerdo a su CC en el momento del parto: ALTA cuando tenía una CC > 2,5 (n = 32) y BAJA cuando era $\leq 2,5$ (n = 26).

De las 58 ovejas iniciales, se eligió al azar un grupo de 22 ovejas para llevar a cabo el estudio de producción de leche desde la primera hasta la sexta semana post-parto: 9 del grupo de CC al parto ALTA (CC > 2,5) y 13 del grupo de CC al parto BAJA (CC $\leq 2,5$). La producción de leche se estimó una vez por semana mediante la técnica de la oxitocina propuesta por Doney *et al.* (1979), con ordeño mecánico y apurado a mano, con un intervalo entre ordeños de 4 h. Las ovejas recibieron 5 UI de oxitocina en la vena yugular antes del primer (8:00 h) y segundo ordeño (12:00 h). Entre ambos ordeños, los corderos fueron separados de sus madres y éstas dispusieron libremente de su dieta. La producción de leche obtenida en el segundo ordeño se pesó y su producción fue extrapolada al día completo. Se tomó una muestra individual de leche (50 ml) a la que se adicionó dicromato potásico para ser almacenada en refrigeración hasta los futuros análisis químicos. La producción de leche fue estandarizada por su contenido energético siguiendo las ecuaciones recomendadas por Bocquier *et al.* (1993).

Se tomaron muestras de sangre (5 ml) de la vena yugular de las 22 ovejas en control de producción de leche para evaluar el estado nutricional de las ovejas a partir de metabolitos sanguíneos relacionados con el balance energético del animal: ácidos grasos no esterificados (AGNE) y β -hidroxibutirato (BHB). Las muestras se tomaron en tubos de vacío con anticoagulante (EDTA) previamente al control de leche. Se mantuvieron refrigera-

das para ser posteriormente centrifugadas a 2000 x g durante 20 minutos. El plasma obtenido fue congelado hasta su posterior análisis. La composición química de la leche se analizó en un Combifoss 5000 (Foss, Hille-rød, Denmark) dotado de un espectrofotómetro MilkoScan 4000 para la determinación de grasa, proteína, lactosa y extracto seco magro y de un contador de células somáticas Fossomatic 5000 (basado en el principio del flujo de citometría).

La determinación de ácidos grasos no esterificados (AGNE) y de β -hidroxibutirato (BHB) se realizó con kits enzimáticos (Randox Laboratories Ltd., Crumlin, Co. Antrim, UK) adaptados a un analizador bioquímico (GernonStar, RAL/TRANSASIA, Dabhel, India). El coeficiente de variación intra- e inter-ensayo para estos metabolitos fue inferior a 5,4% y 5,8%, respectivamente.

Los análisis estadísticos se realizaron con el programa SAS v.9.1 (SAS Institute Inc., Cary, NC, EEUU). El peso vivo (PV) y la condición corporal (CC) del total de ovejas en lactación (n = 58) se evaluaron con un análisis de varianza (ANOVA) con el procedimiento MIXED incluyendo como efectos fijos la condición corporal al parto, ALTA (n = 32) vs. BAJA (n = 25), el tipo de parto, simple (n = 47) vs. doble (n = 11), la semana de lactación (de la 1ª a la 6ª), y sus interacciones dobles; y como efecto aleatorio la oveja. Para analizar la producción y calidad de leche y los metabolitos sanguíneos se utilizó el mismo modelo MIXED, pero sin el efecto fijo tipo de parto debido al bajo número de ejemplares disponibles (n = 4). El PV y la CC de las ovejas al inicio del ensayo se evaluaron mediante un procedimiento GLM, incluyendo como efectos fijos la CC de las ovejas al parto, el tipo de parto y sus interacciones dobles. El peso vivo al nacimiento y la ganancia media diaria (GMD) de los corderos (n = 69) se evaluó con el procedimiento GLM incluyendo como efectos fijos la condición corporal de la oveja al parto, ALTA

(n = 37) vs. BAJA (n = 32), el tipo de nacimiento, simple (n = 47) vs. doble (n = 22), el sexo del animal, macho (n=36) vs. hembra (n = 33) y sus interacciones dobles. El peso vivo (PV) de los corderos (n = 69) se evaluó con un análisis de varianza (ANOVA) con el procedimiento MIXED incluyendo los mismos efectos fijos del análisis GLM (la condición corporal de la oveja al parto, el tipo de nacimiento y el sexo del animal) y añadiendo el efecto de la semana de edad (de la 1ª a la 6ª); y como efecto aleatorio se consideró el cordero. También se incluyeron sus interacciones dobles.

La producción y composición de leche y los metabolitos sanguíneos (n = 22) se analizaron con el procedimiento MIXED incluyendo como efectos fijos la condición corporal al parto, ALTA (n = 9) vs. BAJA (n = 13), la semana de lactación (1ª a 6ª) y sus interacciones dobles; y como efecto aleatorio la oveja. Se utilizó el test de Tukey para la comparación de medias.

Los resultados se muestran como medias mínimo cuadráticas y su error estándar promedio. El nivel de significación se estableció en $P < 0,05$, y las tendencias estadísticas cuando $P \geq 0,05$ y $< 0,10$. Las interacciones entre efectos fijos únicamente se comentan en el texto si fueron significativas ($P < 0,05$).

Resultados y discusión

Rendimientos de las ovejas

Al estudiar las características productivas de las ovejas de raza Ojinegra (más de 4350 ovejas en 8 explotaciones), Ripoll-Bosch *et al.* (2012) observaron que las ovejas de dicha raza llegaban al parto con una CC próxima a 2,5 puntos. Tomando dicho valor como media, se agruparon las ovejas con mayor nota (ALTA, $CC > 2,5$) o con menor (BAJA, $CC \leq 2,5$), para evaluar el efecto de la CC al parto sobre los parámetros productivos de la oveja du-

rante la lactación. Al inicio del ensayo, no existieron diferencias de PV entre las ovejas del grupo ALTA y BAJA ($52,1 \pm 1,5$ vs. $48,4 \pm 1,4$ kg, respectivamente; $p > 0,05$), pero sí según el tipo de parto, simple o doble ($47,8 \pm 0,9$ vs. $52,7 \pm 1,8$ kg respectivamente; $p < 0,05$). En cuanto a la CC al inicio del ensayo, y como era de esperar, sí se observaron diferencias entre los grupos de CC al parto ALTA y BAJA ($3,05 \pm 0,08$ vs. $2,24 \pm 0,07$ puntos respectivamente; $p < 0,05$), pero no se detectaron diferencias fruto del tipo de parto ($2,56 \pm 0,05$ vs. $2,72 \pm 0,09$ puntos para parto simple y doble respectivamente; $p < 0,05$). La evolución del PV y CC de las ovejas en lactación según la CC al parto se muestra en la Figura 1. La CC al parto no tuvo efecto sobre la evolución del PV de las ovejas en lactación ($P > 0,05$), presentando un valor medio durante la lactación de $47,6 \pm 1,51$ y $50,3 \pm 1,47$ kg en los lotes BAJA y ALTA, respectivamente. Por el contrario, la semana de lactación sí afectó a la evolución del PV ($P < 0,05$), disminuyendo significativamente a partir de la 3ª semana de lactación ($49,9 \pm 1,12$ vs. $48,5 \pm 1,12$ kg, en la 1ª-2ª vs. 3ª-6ª semana, respectivamente; $P < 0,05$). En dietas basadas en forrajes frescos, las mayores pérdidas de PV se registran durante las dos primeras semanas de lactación, recuperándose posteriormente (Osoro *et al.*, 2002; Álvarez-Rodríguez *et al.*, 2007; Joy *et al.*, 2008). En el presente estudio la pérdida de peso no se registró hasta la tercera semana de lactación, lo que pudo ser debido a la elevada proporción de concentrado en la ración, que podría haber cubierto en gran medida las necesidades del inicio de lactación, evitando así la movilización importante de reservas. El tipo de parto también tuvo efecto significativo sobre el PV de las ovejas ($P < 0,05$), siendo las ovejas de parto simple las que mostraron pesos medios inferiores a las de parto doble durante la lactación ($46,5 \pm 0,90$ y $51,4 \pm 1,90$ kg, respectivamente). Al inicio del ensayo, el peso vivo de las ovejas de parto doble es significativamente superior

al de las ovejas de parto simple y parece que esta diferencia se mantiene a lo largo del ensayo. Esta diferencia puede estar relacionada con el PV de las ovejas en el periodo de cubrición. Guerra *et al.* (1972) observaron en ovejas de raza Merina una relación directa entre mayor peso corporal y mayor tasa de ovulación, lo que podría explicar que las ovejas de parto doble presentaran pesos superiores a las de parto simple.

Paralelamente al PV, es de esperar que la nota de CC de las ovejas disminuya progresivamente en los últimos días de gestación y durante las primeras semanas de lactación (Bocquier *et al.*, 1990; Molina *et al.*, 2001; Álvarez-Rodríguez *et al.*, 2012). Sin embargo, en el presente trabajo, la evolución de la CC de las ovejas durante la lactación difirió en función de la CC al parto ($P < 0,05$). Las ovejas del grupo ALTA ($CC > 2,5$) perdieron CC, mientras que las del grupo BAJA ($CC \leq 2,5$) recuperaron CC entre el parto y el destete, de forma que en la 6ª semana de lactación no se observaron diferencias significativas entre ambos grupos ($P > 0,05$). Una CC al parto de 2,5 podría considerarse baja (Oregui *et al.*, 2004) y sería recomendable partir de una nota superior para permitir una movilización de reservas corporales para la producción de leche (Bocquier *et al.*, 1990; Anett y Carson, 2006). Esto explicaría que en las ovejas del grupo ALTA disminuyera la CC durante la lactación (-0,34 puntos), debido a cierta movilizando reservas corporales y, por el contrario, en el grupo BAJA se favorecería una acumulación de reservas durante la lactación, produciendo un aumento de la CC (+0,20 puntos). Sin embargo, la magnitud de acumulación o movilización de reservas corporales no fue suficiente para provocar diferencias en la producción de leche. Para estudiar las causas de la distinta evolución de CC observada entre los grupos ALTA y BAJA, sería necesario realizar otros estudios de ingestión y balances energéticos. Ripoll-Bosch *et al.* (2012), estudiando 8 explotaciones co-

merciales representativas, observaron un incremento de CC (+0,23 puntos) durante la lactación cuando las ovejas que llegaban al parto con una CC de 2,55. Por el contrario, Álvarez-Rodríguez *et al.* (2012), al estudiar los efectos de un nivel de reservas superior (en un rango de 2,5 a 3 puntos de CC) sobre los resultados productivos en lactación (6 semanas) en ovejas de parto simple de raza Churra Tensina, observaron que una CC distinta durante la gestación y hasta el momento parto no afectaba sobre la magnitud de pérdida de peso ni de CC durante la lactación.

El tipo de parto no afectó significativamente a la CC de las ovejas durante la lactación ($P > 0,05$). Es de esperar que las ovejas de parto doble registren una producción de leche superior a las de parto simple (Forcada *et al.*, 1984), lo que debería reflejarse en el estado de reservas corporales de las madres. Sin embargo, existen estudios en los que el tipo de parto no tiene efecto ni sobre la CC (Molina *et al.*, 1991) ni sobre el PV (Casasús *et al.*, 1994) en el periodo de lactación. Esto sucedería cuando la mayor exigencia energética de la madre quedara cubierta por la alimentación recibida, o cuando la producción de leche entre los tipos de parto fuera similar, como sucede en el presente trabajo (Tabla 2).

La producción de leche de las ovejas se muestra en la Tabla 2. La CC de las ovejas al parto no afectó ni a la producción de leche ni a su calidad ($P > 0,05$). En este sentido, Gibb y Treacher (1980) tampoco observaron diferencias de producción de leche en el mismo periodo en ovejas con distinta CC al parto (2,4 vs. 3,2) alimentadas en pastoreo. En condiciones semi-extensivas, Oregui *et al.* (2004) tampoco observaron efecto de la nota de CC sobre la producción de leche de ovejas Latxas. La ausencia de diferencias productivas observadas en los distintos ensayos podría ser debida a que la dieta ofertada a las ovejas durante la lactación no fue limitante y permitió una producción de leche similar para las distintas categorías de CC estudiadas.

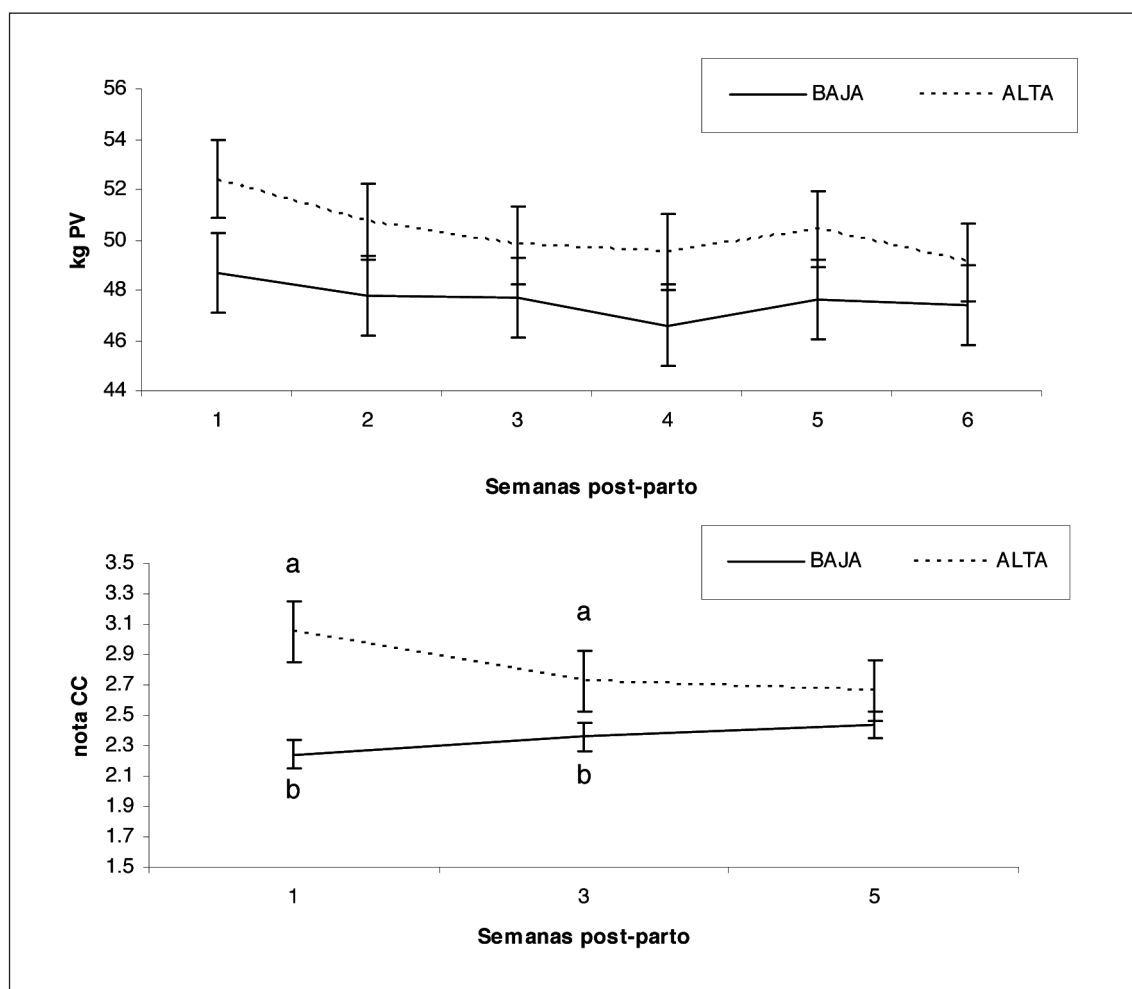


Figura 1. Evolución del peso vivo (PV) y de la condición corporal (CC; escala de 1 a 5) de la ovejas Ojinegras de Teruel según la semana post-parto (BAJA $\leq 2,5$, ALTA $> 2,5$).

Letras distintas denotan diferencias estadísticas entre grupos.

Figure 1. Evolution of live weight (PV) and body condition score (CC; scale 1-5) of Ojinegra ewes throughout lactation (BAJA ≤ 2.5 , ALTA > 2.5). Different letters denote statistical differences between groups.

La semana de lactación tampoco afectó a la mayoría de los parámetros estudiados en la leche. El contenido en grasa bruta (GB) se mantuvo constante durante las seis semanas de lactación, con valores medios de 5,63%, mientras que el contenido en proteína bruta (PB) mostró diferencias significativas entre

semanas ($P < 0,001$), siendo superior en la primera semana de lactación (5,01 vs. 4,60%; $P < 0,05$), lo que se tradujo en una mayor producción de proteína por día en esa fase (48,5 vs. 39,4 g/día; $P < 0,05$). Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Joy *et al.* (2012), que también observaron un mayor contenido

Tabla 2. Producción y calidad de la leche de ovejas Ojinegras estabuladas que recibían una dieta basada en 1 kg de pienso y paja a voluntad según la condición corporal de las ovejas al parto (CC)[†] y la semana de lactación (S)
Table 2. Milk production and composition of Ojinegra sheep breed fed 1 kg of concentrate and straw *ad libitum* according to the body condition score (CC)[†] at lambing and to the week of lactation (S)

	CC			Semana lactación						Efecto	
	BAJA	ALTA	EE	1	2	3	4	5	6	EE	CC S
Producción de leche											
g/día	731	896	± 90,3	936	738	866	850	732	756	± 85,2	NS NS
Estándar, ml/día	649	755	± 68,3	807	635	742	691	652	688	± 66,5	NS NS
Contenido (%)											
Grasa	5,73	5,54	± 0,48	5,77	5,73	5,48	5,07	6,35	5,39	± 0,58	NS NS
Proteína	4,67	4,67	± 0,09	5,01a	4,71b	4,42c	4,53bc	4,69b	4,65b	± 0,09	NS ***
Extracto seco	10,67	10,79	± 0,11	11,1a	10,9b	10,5c	10,6c	10,6c	10,6c	± 0,10	NS ***
Lactosa	5,09	5,15	± 0,07	5,17	5,21	5,16	5,12	5,01	5,05	± 0,07	NS NS
Producción (g/día)											
Grasa	46,3	49,2	± 4,84	55,2	42,6	52,4	44,7	46,0	45,3	± 4,71	NS 0.08
Proteína	39,4	42,5	± 3,00	48,5a	36,3b	42,7ab	41,0ab	36,2b	40,9ab	± 3,31	NS *
Lactosa	43,7	47,4	± 3,35	50,1	41,2	50,0	46,7	40,1	44,9	± 3,68	NS 0.09
RCS											
(log cél/ml)	2,35	2,56	± 0,13	2,51	2,49	2,41	2,42	2,37	2,52	± 0,12	NS NS

[†] Baja: CC ≤ 2,5; Alta: CC > 2,5. RCS: Recuento de células somáticas. La interacción entre grupo de CC y semana de lactación fue no significativa en todas las variables estudiadas (P > 0,05). Letras distintas en una misma línea y efecto indican diferencias significativas (P < 0,05). NS = P > 0,05; * = P < 0,05; *** = P < 0,001.

y producción de proteína bruta en la primera semana de lactación, posiblemente ligado a la presencia residual de calostro. Sin embargo, en el presente estudio las diferencias en composición durante la lactación no fueron suficientes como para modificar la producción de leche estándar, lo que confirma el moderado potencial productivo de la raza.

Según Sierra (2002) la raza Ojinegra presenta una buena capacidad lechera, pero si se compara la producción de leche obtenida en este estudio (bajo las condiciones anteriormente expuestas) con la producción lechera de otras razas de aptitud cárnica, se observa que la oveja Ojinegra tiene una aptitud lechera que podría considerarse moderada. Joy *et al.* (2006), en un estudio con ovejas de la raza Churra Tensina, y Velasco *et al.* (2001), con ovejas Talaveranas, observaron que la producción media de leche a las 6 semanas de lactación era de 1257 y 965 g/día, respectivamente, mientras que la observada en este estudio fue inferior, con 814 g/día. También Miguel-Romera *et al.*, (2011), con ovejas Ojaladas, y Forcada *et al.*, (1984), con ovejas de raza Rasa Aragonesa, obtuvieron una producción de leche estandarizada superior, con valores de 1284 y 926 ml/día respectivamente, frente a los 702 ml/día obtenidos por las Ojinegras. Las dietas ofertadas en los distintos ensayos se basaron en un aporte de concentrado más forraje y/o paja *ad libitum*, pero independientemente de la cantidad de concentrado que se les ofrecía a los animales, las producciones de leche siempre fueron superiores a la registrada en el presente estudio.

La composición de la leche (Tabla 2) no estuvo afectada por la CC de la ovejas ($P > 0,05$) y la semana de lactación únicamente afectó al contenido en PB y extracto seco ($P < 0,001$) y a la producción de proteína ($P < 0,05$). Los contenidos en GB y PB fueron comparables a los observados en la Churra Tensina con un régimen de pastoreo y suplemento (5,1% de GB y 4,9% de PB; Joy *et al.*, 2006). Sin em-

bargo, la producción diaria de GB y PB si fue superior en la raza Churra Tensina en comparación con la Ojinegra: 64,6 g de GB/día y 60,7 g de PB/día. La producción y composición de la leche están condicionadas principalmente por la raza, el periodo de lactación, el sistema de ordeño, la alimentación (Caja y Bocquier, 2000) y el estado sanitario de los animales (Torres-Hernández y Hohenboken, 1979). En este caso, las diferencias entre estudios podrían explicarse por un efecto de las distintas dietas empleadas y por el efecto de la raza. La menor producción de leche en la raza Ojinegra podría estar relacionada con la falta de un esquema de mejora en el que se considere la aptitud materna de la raza como criterio de selección.

En cuanto a los metabolitos sanguíneos indicadores del estado nutricional, no se observaron diferencias entre ambos grupos de CC (Figura 2), ni para los AGNE (2,28 vs. $0,32 \pm 0,06$ mmol/l, en ALTA y BAJA, respectivamente; $P > 0,05$), ni para los BHB (0,52 vs. $0,56 \pm 0,02$ mmol/l, en ALTA y BAJA, respectivamente; $P > 0,05$). Sin embargo, la semana de lactación sí influyó en el contenido en AGNE en sangre ($P < 0,01$). Dichos contenidos fueron significativamente mayores durante la primera semana de lactación que durante las semanas 2 y 3 ($0,76$ vs. $0,44 \pm 0,07$ mmol/l; $P < 0,05$). Las menores concentraciones en AGNE se registraron a partir de la 4ª semana de lactación, con valores medios $0,06 \pm 0,06$ mmol/l, que fueron significativamente inferiores a los de las semanas restantes ($P < 0,05$). La concentración de BHB no se vio afectada ni por la CC ni por la semana de lactación, presentando valores constantes durante las semanas estudiadas ($0,54 \pm 0,04$ mmol/l; $P > 0,05$). La evolución de las concentraciones de AGNE y del PV de las ovejas indicaría un balance energético negativo en las 2-3 primeras semanas de lactación que, según la evolución diferencial de la CC en ambos grupos de ovejas, habría sido de mayor magnitud en las ovejas de CC ALTA que en BAJA. En este sen-

tido, Atti *et al.* (1995) observaron que la concentración de AGNE se incrementaba en las 3 primeras semanas de lactación en ovejas Barbarine de CC al parto ALTA (puntuación ≥ 3), mientras que dicha movilización no se producía en el grupo de CC BAJA (puntuación

"2). Las concentraciones plasmáticas medias de AGNE y BHB se mantuvieron por debajo de los umbrales de 1,0 y 0,8 mmol/l, respectivamente, indicando que las ovejas no se encontraron en un estado persistente de catabolismo graso (Russel, 1984).

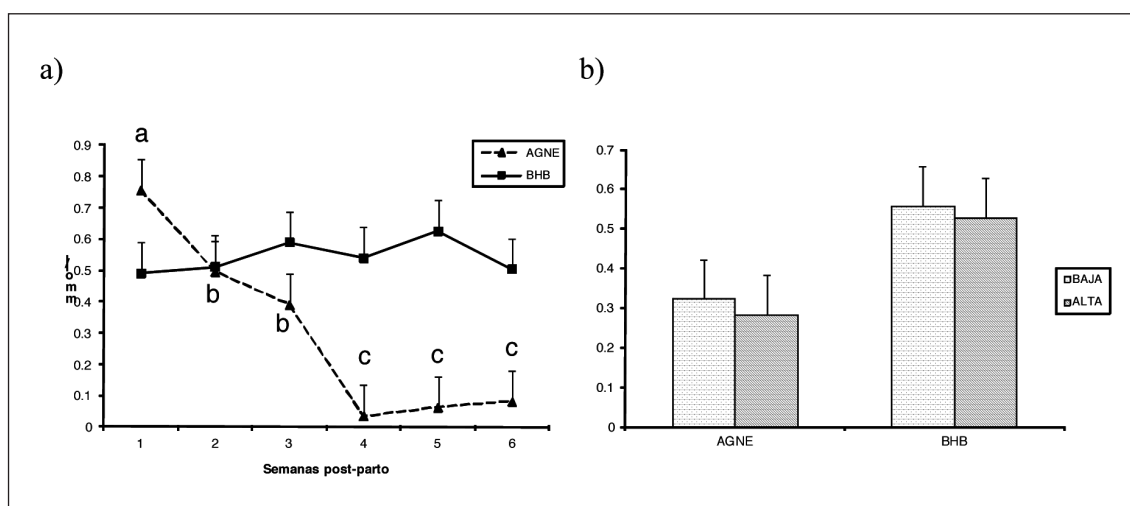


Figura 2. Concentración sanguínea (mmol/l) de ácidos grasos no esterificados (AGNE) y de β -hidroxibutirato (BHB) en ovejas de raza Ojinegra durante las 6 semanas de lactación (a) y según la condición corporal al parto (BAJA $\leq 2,5$, ALTA $> 2,5$) (b).

Letras distintas denotan diferencias estadísticas dentro del mismo grupo.

Figure 2. Blood concentration (mmol/l) of non-esterified fatty acids (AGNE) and β -hydroxybutyrate (BHB) of Ojinegra ewes during lactation (a) and depending on the body condition score at lambing (BAJA ≤ 2.5 , ALTA > 2.5) (b). Different letters denote statistical differences within the same group.

Rendimientos de los corderos

El peso vivo (PV) de los corderos al nacimiento y la ganancia media diaria (GMD) durante las 6 semanas de lactación no se vieron afectadas por la CC de la oveja al parto (3,4 vs. $3,6 \pm 0,1$ kg y 148 vs. 154 ± 9 g/día, en ALTA y BAJA, respectivamente; $P > 0,05$). Este resultado es acorde con la similar producción de leche observada entre ambos grupos de ovejas. El peso medio en el momento del destete de los corderos fue de $9,6 \pm 0,3$ kg (Figura 3). En esta

línea, Al-Sabbagh *et al.* (1995) no observaron diferencias en el rendimiento productivo de los corderos debido a la CC de la oveja al parto, en un rango de puntuación de 2,5 a 3,5, que pudo ser explicado en parte por la ausencia de diferencias en la concentración castral de IgG de las ovejas.

El sexo tampoco afectó al PV de los corderos en la primera semana de vida ni a su ganancia media diaria (GMD) durante las 6 semanas de lactación (3,4 vs. $3,5 \pm 0,1$ kg y 151 vs.

151 $\pm$ 9 g/día, en machos y hembras, respectivamente; $P > 0,05$). Los valores de PV al nacimiento son muy similares a los registrados por Ripoll-Bosch *et al.* (2012) con corderos de la misma raza, 3,6 y 3,4 en machos y hembras, respectivamente. Aunque la diferencia de peso entre sexos en ambos estudios es parecida, en esa ocasión sí fueron estadísticamente distintos. Las diferencias de significación estadística vendrían dadas por el tamaño muestral, ya que el volumen de animales controlados en ese estudio es muy superior (más de 6000 vs. 66 corderos). En ese caso, la GMD también fue distinta entre sexos (173 vs. 162 $\pm$ 6 g/día, en machos y hembras, respectivamente), aunque el periodo de lactación estudiado fue más extenso (hasta 90 días). Esto indicaría que la diferenciación de GMD entre sexos se produce a edades superiores a las 6 semanas de vida y que, por tanto, no sería necesario implementar una producción diferenciada para corderos de categoría lechal según su sexo.

En cuanto al efecto del tipo de parto, el PV inicial de los corderos y su GMD durante la lactación mostró una tendencia a diferenciarse entre ovejas de parto simple y doble (3,6 vs. 3,3 $\pm$ 0,1 kg y 162 vs. 141 $\pm$ 9 g/día, en simple y doble, respectivamente; $P = 0,08$), siendo las diferencias de peso significativas a partir de la 3ª semana de edad ($P < 0,05$; Figura 3). Generalmente, los corderos de parto simple presentan una mayor GMD que los corderos de parto doble, por su mayor disponibilidad de leche (Torres-Hernández y Hohenboken, 1980). Con animales mantenidos en grupos, si la madre no es capaz de producir suficiente leche, se observa la existencia de corderos que tetan de otras ovejas para satisfacer sus necesidades (Forcada *et al.*, 1984), lo que permitiría mitigar las diferencias de GMD entre tipos de parto. Sin embargo, la moderada producción de leche observada en las ovejas Ojinegras (Tabla 2) repercute a largo plazo en mayor medida sobre el desarrollo de los corderos de parto doble.

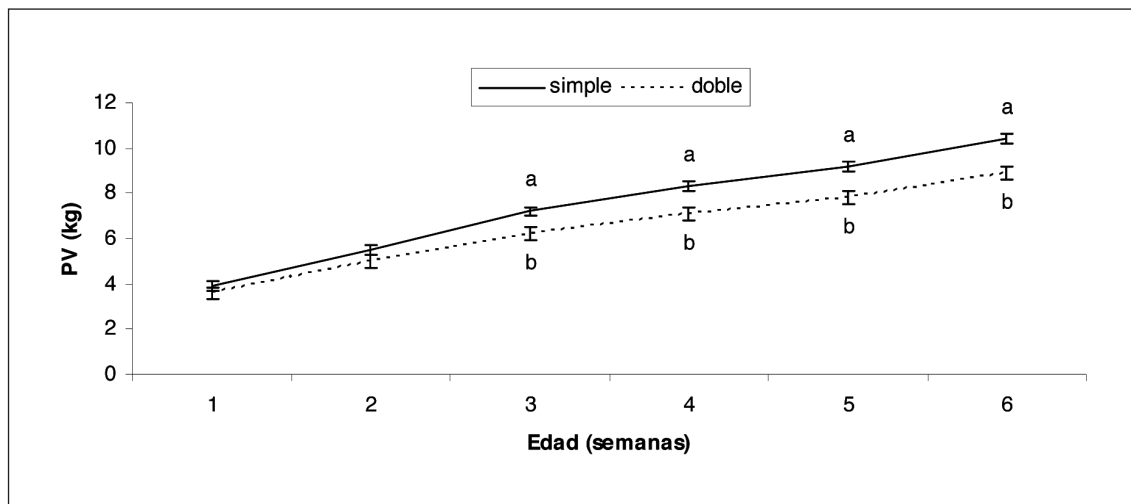


Figura 3. Evolución del peso vivo (PV) de los corderos de raza Ojinegra según el tipo de parto (simple o doble). Letras distintas denotan diferencias estadísticas entre grupos.

Figure 3. Evolution of live weight (PV) in Ojinegra suckling lambs according to type of birth (simple or doble). Different letters denote statistical differences between groups.

Los resultados productivos de los corderos del presente estudio no han evidenciado una mejora con respecto a los obtenidos por Arrufat (1982) en la misma raza tres décadas atrás. Este autor indicaba valores de PV al nacimiento de 3,6 y 3,3 kg para machos y hembras simples, y de 3,0 y 2,7 kg para machos y hembras dobles. En cuanto al crecimiento de los corderos durante el primer mes de vida, observó valores de 201 y 187 g/día para machos y hembras simples, y de 157 y 142 g/día para machos y hembras dobles.

Conclusiones

La producción de leche de las oveja de raza Ojinegra permite un crecimiento moderado de los corderos que puede condicionar el cumplimiento de la edad máxima para alcanzar el peso de la categoría lechal (45 días hasta 10-12 kg). Deberían realizarse más estudios sobre la capacidad lechera y maternal de dicha oveja con distintos sistemas de manejo y alimentación. La comercialización de corderos lechales de raza Ojinegra requeriría, además, de estudios que caracterizaran la calidad de la canal y de la carne de este producto.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado gracias a la colaboración entre la Unidad de Tecnología en Producción Animal del CITA, el Centro de Transferencia Agroalimentaria del Gobierno de Aragón, especialmente Ricardo Revilla y Salvador Congost, y la Asociación de Ganaderos de Raza Ojinegra (AGROJI). Deseamos agradecer al personal del CITA por su colaboración, especialmente a **Javier Casaus** por el esfuerzo que realizó para llevar a cabo el estudio de producción. El trabajo ha sido financiado con fondos INIA-FEDER (PET2007-006-003). R. Ripoll-Bosch disfruta de una beca predoctoral INIA.

Bibliografía

- Al-Sabbagh TA, Swanson LV, Thompson JM, 1995. The effect of ewe body condition at lambing on colostral immunoglobulin G concentration and lamb performance. *Journal of Animal Science*, 73, 2860-2864.
- Álvarez-Rodríguez J, Sanz A, Delfa R, Revilla R, Joy M, 2007. Performance and grazing behaviour of Churra Tensina sheep stocked under different management systems during lactation on Spanish mountain pastures. *Livestock Science*, 107, 152-161.
- Álvarez-Rodríguez J, Estopañan G, Sanz A, Dervishi E, Tamanini C, Joy M, 2012. Carry-over effects of body condition in the early pregnant ewe on peri-partum adipose tissue metabolism. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. Doi: 10.1111/j.1439-0396.2011.01210.x
- Anett RW, Carson AF, 2006. Effects of plane of nutrition during the first month of pregnancy on conception rate, foetal development and lamb output of mature and adolescent ewes. *Animal Science* 82, 947-954.
- Arrufat A, 1982. Crecimientos medios de los corderos de raza Ojinegra. VII Jornadas de la Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia, Murcia, España, pp. 441-446.
- Atti N, Nefzaoui A, Bocquier F, 1995. Influence de l'état corporel à la mise bas sur les performances, le bilan énergétique et l'évolution des métabolites sanguins de la brebis Barbarine. *Options Méditerranéennes. Serie A, Séminaires Méditerranéens* 27, 25-33.
- BOA, 2009. Normativa específica de la indicación geográfica protegida "Ternasco de Aragón". *Boletín Oficial de Aragón (BOA)* núm. 48, del 11 de marzo: 5423-5452.
- Bocquier F, Theriez M, Prache S, Brelut A, 1990. Alimentación de ovinos. 225-252. En: *Alimentación de bobinos, ovinos y caprinos*. INRA. Ediciones Mundi-Prensa.
- Bocquier F, Barillet F, Guillouet P, Jacquin M, 1993. Prediction of energetic content of ewes milk from different chemical-analyses-proposal for a standard milk for dairy ewes. *Annales de Zootechnie* 42(1), 57-66.

- Caja G, Bocquier F, 2000. Effects of nutrition on the composition of sheep's milk. *Options Méditerranéennes*, 52, 59-74.
- Casasús I, San Juan L, Bergua A, Olleta JL, Revilla R, 1994. La oveja Churra Tensina: Caracterización productiva y reproductiva. XIX Jornadas Científicas de la Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia. 401-408. Burgos, España.
- De Rancourt M, Fois N, Lavín MP, Tchakérian E, Vallerand F, 2006. Mediterranean sheep and goats production: An uncertain future. *Small Ruminant Research* 62, 167-179.
- Doney JM, Peart JN, Smith WF, Louda F, 1979. Consideration of the techniques for estimation of milk-yield by suckled sheep and a comparison of estimates obtained by 2 methods in relation to the effect of breed, level of production and stage of lactation. *Journal of Agricultural Science*, 92, 123-132.
- FAO, 2011. Food and Agriculture Organization statistical database. <http://www.faostat.fao.org/>
- Forcada F, Thos J, López M, Sierra I, 1984. Producción de leche de la raza Rasa Aragonesa en la fase de amamantamiento del cordero. IX Jornadas Científicas de la Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia. 161-164. Granada-Málaga, España.
- Gibb MJ, Treacher TT, 1980. The effect of ewe body condition at lambing on the performance of ewes and their lambs at pasture. *Journal of Agricultural Science*, 95, 631-640.
- Guerra JC, Thwaites CJ, Edey TN, 1972. The effects of components of body weight on reproductive efficiency in the Merino ewe. *Journal of Agricultural Science*, 78, 245-249.
- INE, 2011. Instituto Nacional de Estadística. <http://www.ine.es/inebmenu/mnuagricultura.htm>
- Joy M, Revilla R, Gracia S, Delfa R, 2006. Producción de leche y crecimiento de los corderos de ovejas de raza "Churra-Tensina" explotadas en primavera bajo dos condiciones de manejo. ITEA-Información Técnica Económica Agraria, 102 (4), 409-421.
- Joy M, Álvarez-Rodríguez J, Revilla R, Delfa R, Ripoll G, 2008. Ewe metabolic performance and lamb carcass traits in pasture and concentrate-based production systems in Churra Tensina breed. *Small Ruminant Research*, 75, 24-35.
- Joy M, Sanz A, Ripoll G, Panea B, Ripoll-Bosch R, Blasco I, Álvarez-Rodríguez J, 2012. Does forage type (grazing vs. hay) fed to ewes before and after lambing affect suckling lambs performance, meat quality and consumer purchase intention? *Small Ruminant Research*, 104, 1-9.
- Lara S, Picazo R, Arrufat A, Abril F, 2000. Raza Ojinegra: Situación actual y perspectivas. XXV Jornadas de la Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia, Teruel, España, pp. 235-240.
- MARM, 2009. Anuario de estadística 2008. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid, España. 1150 págs.
- Miguel-Romera JA, Calvo-Ruiz JL, Ciria-Ciria J, Asenjo-Martin B, 2011. Effect of feeding systems on live-weight, reproductive performance, milk yield and composition, and the growth of lambs in native Spanish Ojalada sheep. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 9(3), 769-780.
- Molina A, Gallego L, Plaza M, Gómez C, 1991. The evolution of body condition score of Manchega breed ewes according to lambing season and birth type, and its effects on lamb growth. *Options Méditerranéennes*, 13, 77-84.
- Molina E, Ferret A, Caja G, Calsamiglia S, Duch X, Gasa J, 2001. Comparison of voluntary food intake, apparent digestibility, digesta kinetics and digestive tract content in Manchega and Lacau dairy sheep in late pregnancy and early and mid lactation. *Animal Science*, 72, 209-221.
- Oficina del Regante, 2011. Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente. Gobierno de Aragón. <http://servicios.aragon.es/oresa/oresa.do>
- Oregui LM, Bravo MV, Gabiña D, 2004. Relación entre el estado de carnes y parámetros reproductivos y productivos en ovejas Latxas. *Archivos de Zootecnia*, 53, 201, 47-58.
- Osoro K, Martínez A, Celaya R, 2002. Effect of breed and sward height on sheep performance and production per hectare during the spring

- and autumn in Northern Spain. *Grass and Forage Science*, 57, 137-146.
- Pardos L, Fantova E, 2009. Evolución de la rentabilidad económica en explotaciones de ovino de carne en Aragón. *Albéitar*, 123, 26-28.
- Picazo R, Lara S, Fuentes P, González A, Herrera M, 2004. Raza ovina Ojinegra: Caracteres cuantitativos morfoestructurales. XXIX Jornadas de la Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia, Lleida, España, pp. 380-382.
- Ripoll-Bosch R, Villalba D, Blasco I, Congost S, Falo F, Revilla R, Joy M, 2012. Caracterización productiva de la raza Ojinegra de Teruel: ¿Es la explotación un factor determinante? *ITEA-Información Técnica Económica Agraria*, 108(3), 1-14.
- Russel AJF, Doney JM, Gunn RG, 1969. Subjective assessment of body fat in live sheep. *Journal of Agricultural Science*, 72, 451-454.
- Russel AJF, 1984. Means of assessing the adequacy of nutrition of pregnant ewes. *Livestock Production Science*, 11, 429-436.
- Sierra I, 2002. Razas aragonesas de Ganado. Gobierno de Aragón. Departamento de Agricultura, Zaragoza, 125 págs.
- Tor M, Gosálvez LF, Delfa R, Estavillo S, 1999. Efecto de la raza sobre la composición del tejido adiposo en el Ternasco de Aragón. XXIV Jornadas de la Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia, Soria, España. pp. 419-423.
- Torres-Hernández G, Hohenboken W, 1979. Genetic and environmental effects on milk production, milk composition and mastitis incidence in crossbred ewes. *Journal of Animal Science*, 49, 410-417.
- Torres-Hernández G, Hohenboken W, 1980. Relationships between ewe milk production and composition and preweaning lamb weight gain. *Journal of Animal Science*, 50, 597-603.
- Velasco S, Cañeque V, Díaz MT, Pérez C, Lauzurica S, Huidobro F, Manzanares C, González J, 2001. Producción lechera y composición lipídica de la leche de ovejas Talaveranas durante el período de lactancia. *Investigación agraria: Producción y Sanidad Animales*, 16(1), 181-192.

(Aceptado para publicación el 27 de abril de 2012)

Análisis tecnológico-funcional y arquitectónico de las almazaras cordobesas en la Edad Moderna

M.Y. López, F. Montes, E. Burgos y A. Moreno¹

Departamento de Ingeniería Gráfica y Geomática. Universidad de Córdoba. España

Resumen

El presente trabajo de investigación nos sumergirá en el pasado de las almazaras cordobesas, concretamente en aquellas que utilizaron a la prensa de viga y quintal, de torre o de torrecilla como mecanismo esencial para extraer el zumo virgen de las aceitunas trituradas en el empiedro. Dichas prensas tenían unas dimensiones que influyeron en el diseño final de la nave donde se ubicaban y una potencia de funcionamiento definida por sus respectivas torres: móviles (dinámicas) o de contrapeso (estáticas). En primer lugar, se comenzará por analizar la elaboración tradicional del aceite de oliva durante la Edad Moderna, continuando seguidamente con las características arquitectónicas principales de los molinos aceiteros cordobeses que albergaron a tales instalaciones. Por último, y aplicado a todo lo anterior, se realizará un estudio en detalle del "Molino del Toro", una construcción agraria de la centuria dieciochesca realizada en Montilla bajo la influencia del poderoso marquesado de Priego. Allí existió una gran almazara formada por tres prensas de viga y quintal con sus respectivas torres de contrapeso, estas últimas ideadas para contrarrestar el empuje de las vigas durante la prensada.

Palabras clave: Aceite de oliva, patrimonio agroalimentario, arqueología industrial, diseño asistido por ordenador, Molino del Toro, Montilla.

Summary

Technological-functional and architectural analysis of the cordovan oil mills in the Modern Age

The present research will immerse us in the past of the cordovan oil mills, concretely in those that used the beam and quintal press, tower press or turret press as essential mechanism to extract the virgin juice of the olives crushed in the millstone. These presses had dimensions that influenced from the final design of the industrial building where they were located and a power of operation defined by their respective towers: mobiles (dynamycs) or counterweight (statics). Firstly, it will be analyzed the traditional manufacture of the olive oil during the Modern Age, continuing then with the main architectural characteristics of the cordovan oil mills that lodged such facilities. Finally, and applied to everything previous, it will be realized a study in detail of the "Molino del Toro", an agrarian construction of the eighteenth century made in Montilla under the influence of the Priego's powerful marquisate. There existed a great oil mill formed by three beam and quintal presses with their respective counterweight towers, the last designed to counteract the push of the beams during the pressing.

Key words: Olive oil, agricultural-food heritage, industrial archaeology, computer-aided design, Molino del Toro, Montilla.

1. Autor para correspondencia: tel. 0034-606-228-192, ingenieriapatrimonio@gmail.com

Introducción

El estudio del patrimonio industrial desde un punto de vista ingenieril resulta de vital importancia para poder comprender el funcionamiento de los artilugios técnicos que habitaron en el interior de molinos y fábricas. La visión del ingeniero como aquel facultativo que acapara el diseño, la construcción y el manejo de ingenios y máquinas, le hace tener un enfoque muy particular a la hora de analizar las tecnologías de nuestros antepasados. El artículo que a continuación se desarrolla está dedicado a los artefactos más comúnmente utilizados por los almazareros de la Edad Moderna: molinos de muela vertical, prensas de viga y quintal, prensas de torre..., unas primitivas máquinas óptimamente diseñadas. Cómo funcionaban, qué rendimiento y capacidad productiva tenían, etc., serán solo algunas de las cuestiones a tratar en estas páginas.

El presente trabajo será el punto de partida de una investigación mucho más elaborada: tesis doctoral, cuyo primer propósito es el estudio histórico-técnico de las almazaras cordobesas en el siglo XVIII, prestando especial atención en aquellas que utilizaron a la prensa de viga y quintal con su respectiva torre de contrapeso para producir el aceite de oliva. Este artilugio preindustrial proviene de una tecnología romana que fue transformándose a lo largo de los siglos sin alterar el mecanismo de funcionamiento, sólo incrementando progresivamente sus dimensiones y su productividad con tal de adaptarse a las diferentes condiciones económico-sociales de cada periodo histórico, lo cual permitió su permanencia en uso hasta el primer tercio del siglo XX (véase Pino Espejo, 2008).

Aunque se halla documentada la gran expansión que sufrió el olivar andaluz durante la Edad Moderna (véase Sánchez Salazar, 1989), hay pocas referencias acerca de los métodos empleados para extraer el aceite de oliva. Por otro lado, sólo una pequeña parte de sus pretéritas almazaras, pero muy importante desde un punto de vista histórico-técnico, han llegado a nuestros días con partes de la construcción original o de los mecanismos que fueron empleados en su interior, cuyos bienes constituyen un patrimonio cultural de suma importancia para poder intuir las relaciones arquitectónicas e ingenieriles existentes entre unos lugares y otros. Estas construcciones agrarias y sus primitivas máquinas se hallan normalmente conservadas en un estado ruinoso, siendo la excepción algunas actuaciones privadas encaminadas a la restauración, recuperación y reutilización de las mismas².

Primeramente, se realizará un análisis tipológico y funcional sobre la tecnología empleada para elaborar el aceite de oliva en la Edad Moderna. Seguidamente, se describirán las características arquitectónicas más relevantes que presentaron las almazaras cordobesas de los siglos XVI a XVIII, consiguiendo así un primer acercamiento a la historia Moderna de las mismas. Por último, y como aplicación a todo lo anterior, se analizarán detalladamente los artilugios técnicos oleícolas que albergó el pretérito "Molino Nuevo del Diezmo" en la sierra de Montilla (Córdoba), reconstruyendo gráficamente todos aquellos detalles arquitectónicos e ingenieriles que permitan definir con cierta exactitud, en base a los restos actuales todavía existentes, su estado inicial de funcionamiento.

Para llevar a cabo esta investigación se han consultado una gran bibliografía, visitado

2. Todo ello quedaría englobado bajo el concepto de Arqueología Industrial, una disciplina científica que se ocupa de registrar, investigar y analizar los vestigios materiales de la sociedad industrial [Rojas Sola, 2003].

diversos museos andaluces del aceite de oliva con antiguas prensas de viga y quintal en su interior: Nigüelas (Granada), Baeza (Jaén), Antequera (Málaga), Cabra (Córdoba)..., obtenido testimonios orales aportados por la sociedad cordobesa, explorado las distintas tipologías arquitectónicas de almazaras que aún se conservan en la provincia de Córdoba desde la Edad Moderna y visto documentos centenarios en archivos y fundaciones: Archivo General de Andalucía (Sevilla), Fundación Manuel Ruiz Luque (Montilla), etc. Asimismo, se han realizado las fotografías y mediciones necesarias para llevar a cabo el diseño de croquis y planos, lo cual ha permitido analizar gráficamente las diferentes máquinas que intervinieron en el proceso productivo de las almazaras cordobesas durante la Edad Moderna: molinos, prensas, etc. Con este trabajo se ha conseguido aunar de forma eficiente la ingeniería con la historia en aras de revalorizar los bienes tangibles e intangibles que constituyen el patrimonio industrial oleícola (memoria del trabajo, almazaras, etc.).

Elaboración del aceite de oliva durante la Edad Moderna

Reciben el nombre de almazara³ o molino de aceite todas aquellas instalaciones destinadas a la extracción del aceite de oliva mediante procesos físicos relativamente simples: molienda, batido, prensado, decantación, etc. En sentido estricto, el vocablo almazara determina tanto el conjunto de artilugios mecánicos que componen su función industrial como el edificio que los alberga [Rodríguez López y Cara Barrionuevo, 1997].

Durante la Edad Moderna, el funcionamiento de las almazaras fue a la vez tan simple, tecnológicamente hablando, como arduo y peligroso, desde un punto de vista laboral. El trabajo de los almazareros estuvo sometido a un conjunto de saberes ancestrales, una memoria social poco documentada, que se intentará describir a lo largo de la presente investigación. Los artefactos principales para la elaboración tradicional del aceite de oliva fueron dos: el molino y la prensa, seguidos por otros elementos igualmente importantes pero complementarios de los primeros: la caldera, el aljibe/pozo, las trojes, etc. [Rodríguez López y Cara Barrionuevo, 1997]. Las prensas de rincón, de viga, de torre y de torrecilla constituyeron, junto con el molino de piedra vertical, el fundamento de las almazaras preindustriales del periodo histórico que aquí nos ocupa.

En plena campaña olivarera, las almazaras de la Edad Moderna funcionaban las 24 horas del día, tiempo en el que, como máximo, se hacían dos turnos de prensado⁴, cada uno formado por dos o tres aprietes. Durante cada jornada laboral había que cargar las aceitunas desde las trojes hasta el molino, cuidar de la molturación arrimando el fruto a la piedra vertical, transportar la pasta oleosa obtenida en el molino hacia la regaifa, manipular la prensa y formar el cargo con los capachos, vigilar la caldera y calentar el agua para el prensado, sacar el aceite de los decantadores para su almacenamiento en la bodega, cuidar de la caballería, limpiar (cuadra, molino, bodega...), etc. La iluminación de las instalaciones durante la noche se realizaba entonces mediante lámparas y candiles alimentados con los aceites no aptos para el consumo humano, denominados lampantes.

3. Su nombre proviene del árabe y significa "lugar para exprimir".

4. *Semanario industrial* (1840), Tomo I (pág. 51): "En Andalucía ninguna de ellas (prensa de viga y de torre) hace por lo regular sino dos prensadas por día, de poco más de 9 fanegas castellanas cada una".

Tal y como sucede a día de hoy en las cooperativas olivareras, el maestro molino también desempeñaba entonces un papel fundamental como trabajador cualificado y experto en todas las operaciones básicas que constituían la elaboración tradicional del aceite de oliva: molienda de las aceitunas, prensado de la pasta oleosa y decantación del zumo virgen, siendo además quien realizaba las reparaciones y el mantenimiento de la maquinaria. Era también el máximo responsable de los restantes trabajadores (oficiales, aprendices...) y quien debía registrar, para cada cosechero, la cantidad de aceituna molida y el aceite producido, cobrando después la maquila correspondiente.

Acopio de las aceitunas

Mediante animales de carga, las aceitunas recolectadas eran acarreadas al patio de recepción del recinto almazarero, siendo almacenadas en pequeños compartimentos, denominados trojes, limitados entre sí por tabiquería vertical y con suelos empedrados; por su parte superior solían estar normalmente al descubierto. Cuanto más tiempo permanecieran las aceitunas en este lugar, peor era la calidad del aceite obtenido por su mayor acidez. [López Gálvez, 2010 (pág. 26)].

La molienda

Tras horas o incluso varios días, las aceitunas pasaban de las trojes al molino para ser trituradas y convertidas en una pasta, siempre intentando no romper el hueso. Su mecánica fue muy simple: sobre un empiedro circular gi-

raba una rueda pétrea vertical accionada por un animal de tiro (mula, caballo, buey...). Tanto la piedra móvil como el animal quedaban unidos, por medio de una barra horizontal, a un árbol vertical llamado peón, que actuaba como eje de giro en el centro del conjunto. El peso de la rueda en movimiento trituraba la oliva sin separarla del hueso⁵, resultando así una pasta homogénea, espesa y pesada (Véase Córdoba de la Llave, 1988, pág. 865).

El animal de tiro movía la piedra molar dando vueltas alrededor del empiedro, quedando unido a ella por medio de un mayal. A este último elemento se uncía el animal mediante un costillar, cuya parte inferior lo prendía por el vientre. La "bestia" trabajaba durante tres horas consecutivas con los ojos tapados, sin lo cual se aturdiría debido a la marcha circular [F. Rozier, 1797 (Tomo I, pág. 300)]. El empiedro quedaba constituido por la solera y el alfarje, normalmente como unidades constructivas independientes [A. Arambarri, 1993 (pág. 387)].

Las aceitunas se trituraban todo lo más durante media hora, removiendo la pasta para evitar que se resquebrajara el hueso, lo que daría un aceite amargoso. Una molienda lenta e irregular provocaba un calentamiento de la pasta y un aumento de su acidez. La figura del "agarrafador"⁶ dosificaba y vertía las aceitunas en el empiedro⁷, reconducía la masa oleosa desplazada del camino de rodadura molar para echarla, con ayuda de una paleta manual, bajo la muela y cuidaba de arrear a la bestia. Como término medio, las muelas verticales tenían aproximadamente un metro de radio y un canto de 60 centímetros. [F. Balaguer y Primo, 1877 (Tomo II, pág. 254-255)].

5. José Martínez de Mazas indicaba en 1794 que: "No es fácil que en Andalucía se separen los huesos de la aceituna para molerla". Véase Lámina 1, arriba, cuadrante izq.

6. El Diccionario de la Lengua Española (22ª edición) lo define así: "cada uno de los obreros que en los molinos de aceite manejan los capachos en que se echa lo molido para prensarlo".

7. Cuidaba de que no hubiera en cada moledura más de dos fanegas y media.

El prensado

La pasta resultante tras la molienda se trasladaba hacia la prensa, donde se obtenía el zumo virgen de la pulpa mediante presión. Debido a la reducida adherencia de la masa oleosa, ésta tenía que ser depositada sobre la superficie de una estera circular, hecha con esparto y un diámetro en torno al metro, para que, una vez superpuestas entre sí, fuesen presionados de manera constante por la prensa, dejando salir el aceite de oliva y reteniendo la masa sólida. Cada dos esteras cosidas por el canto formaban un "capacho", el cual tenía sus bases agujereadas, presentando la inferior un orificio pequeño y la superior una gran boca por donde se vertía la pasta oleosa [Córdoba de la Llave, 1990 (pág. 357)]. Esta pieza evolucionó a una sola estera plana con agujero central. Para ser usados, los capachos debían ser fabricados durante la cálida estación del verano, entre cuatro y seis meses antes de su empleo, y puestos a remojar en agua limpia durante dos o tres días. Su material de construcción tenía que ser flexible y al mismo tiempo lo suficientemente robusto para soportar la presión del mecanismo sin romperse: la hoja del esparto (*Stipa tenacissima*) presentaba fibras que cumplían con tales requerimientos. Ayudados de palas, los operarios vertían una determinada porción de pasta sobre cada capacho⁸, y luego la distribuían uniformemente por todo su área, formando finas capas (de unos centímetros). Cada quince o veinte días, los capachos eran sustituidos por otros nuevos [Martínez Mejías, 2001 (pág. 197)].

Las almazaras de la Edad Moderna extraían el aceite de oliva utilizando diversas tipolo-

gías de prensas: de capilla o rincón, de viga y quintal, de torre y de torrecilla. Seguidamente se analizarán a estas máquinas preindustriales de forma independiente.

Prensas de capilla o rincón

Tras el descubrimiento por parte de los griegos del tornillo sinfín, la extracción del aceite de oliva evolucionó, surgiendo las prensas de presión directa mediante husillo vertical⁹. Construidas todas ellas en madera, empleaban un gran tornillo para ejercer directamente la presión sobre una pila de capachos rellenos de aceituna molida (carga). [M. Moya Vilar et al., 2007 (pág. 658)].

Estas prensas quedaban instaladas en una esquina de las almazaras, por lo que fueron llamadas de rincón, ocupando un espacio muy reducido [D. Pequeño, 1879 (pág. 197-198)]. En ellas, un tornillo vertical, con gran diámetro, atravesaba una rosca pasante ubicada en el centro de una viga incrustada por sus extremos a unos pilares de madera o a los propios muros de la nave, siendo denominadas las del último tipo prensas de capilla (véase Mejías García y Mercado Hervás, 1997, pág. 385). Su principio de funcionamiento era sencillo. Una vez formado el cargo¹⁰, se introducía una barra por uno de los taladros existentes en un bloque de madera unido sólidamente al extremo inferior del husillo; la viga-tuerca quedaba siempre por encima del bloque (cabeza del tornillo). Luego, unos tres operarios¹¹ comenzaban a tirar fuertemente de la palanca formada en la dirección que hiciera descender al conjunto bloque-husillo, cuyo primer elemento presionaba contra una tabla de madera colocada sobre los capa-

8. Hasta 18 [Enciclopedia española del siglo XIX, 1842 (Tomo II, pág. 275)].

9. Considerada por Plinio el Viejo como la culminación de una revolución técnica [A. Arambarri, 1992 (pág. 91)].

10. De 10 a 12 capachos [J.I. Rojas Sola, 1997 (pág. 39)].

11. Véase grabado de J. Stradamus (1523-1605) en *Lámina 1* (cuadrante superior dcho.).

chos. En las prensas más potentes, la palanca tuvo que ser auxiliada por caballería o incluso por un cabrestante, mínimamente para llevar a cabo los últimos aprietes (véase Manjarrés, 1896, pág. 162-163).

A pesar de requerir un gran esfuerzo para hacerlas funcionar, su rendimiento en la presión de la pasta oleosa y su capacidad productiva eran muy limitados, y más todavía si las comparamos con sus competidoras: las prensas de viga y de torre. Aun así llegó a ser una prensa clásica entre las almazaras de la Edad Media y Moderna, e incluso romanas (Véase Schneider, 2009, pág. 61).

Prensas de viga y quintal

Este sistema de prensado se basaba en el uso de una enorme viga fabricada mediante troncos zunchados de conífera¹² (*Pinus* spp.) o encina (*Quercus ilex*), cuya cabeza se hacía pasar entre dos maderos verticales (llamados vírgenes), ambos con una ranura longitudinal donde se introducían las cuñas de apriete (trabones o calzos), fijados a una hornacina (capilla) de la torre contrapeso. Este último elemento estático actuaba como punto de apoyo para la viga, cuya potencia era ejercida en su extremo contrario, donde mediante un "husillo"¹³ roscado a una tuerca (también de madera) se hacía subir un elemento pétreo, denominado quintal, fijado en aquel (véase *Lámina 1*, abajo). Una pila de capachos llenos de masa oleosa, ubicada entre las vírgenes y unas guiaderas intermedias, actuaba como pieza resistente, formando así el conjunto una palanca de segundo género¹⁴.

Tras colocar los capachos llenos de masa oleosa sobre la regaifa, ya podía comenzar el izado del quintal, con un peso habitual que oscilaba entre dos y tres toneladas, para lo cual un par de operarios, llamados "husilleros", movían dos palancas de madera unidas al husillo por su tramo inferior de cuatro caras planas (ortoeidro), un espacio que iba desde la unión con el quintal hasta el comienzo de la rosca, haciendo girar el tornillo con sentido de avance ascendente y elevando así, poco a poco, la piedra. El cargo era presionado lentamente por el marrano¹⁵ al descender. Las guiaderas intermedias albergaban en su parte inferior a la lavija, un pequeño madero horizontal con un saliente curvo por ambos extremos cuya función era servir como punto de apoyo para la viga, permitiendo su presencia o ausencia que se prensara o no respectivamente sobre los capachos.

Describamos a continuación el proceso de prensado (véase *Lámina 2*) partiendo desde la posición de reposo, ésta es, con el travesaño descansando sobre la lavija y el quintal apoyado en el suelo. Primeramente, debía levantarse la viga por su cabeza. Para ello, los operarios movían las palancas giratorias en el sentido que produjera un avance descendente (saliente) de la tuerca. Una vez levantada la cabeza, se colocaban unos trabones en la parte inferior de la misma para una mayor seguridad, quedando la viga sustentada por tres apoyos: lavija, quintal y trabones. Ahora ya podía ser formado el cargo de capachos con la masa de aceituna molida. Una vez hecho éste, comenzaba el apriete propiamente dicho, siendo la primera tarea girar el husillo en sentido descendente para levantar la cabeza y poder quitar los trabones,

12. La madera más usual para fabricarlas era el pino tea [A. Arambarri, 1992 (pág. 112)].

13. Habitualmente diseñado con madera de encina. Su longitud (altura) oscilaba entre 5,5 y 7 metros; el diámetro solía tener de 16 a 24 centímetros y el paso de rosca variaba entre 6 y 12 centímetros [J.I. Rojas Sola, 1997 (pág. 47)].

14. La resistencia se halla entre la potencia y el punto de apoyo.

15. Pieza circular ensamblada en la viga.

quedando la viga gravitando nuevamente sobre los apoyos iniciales: lavija y quintal. Luego se giraban despacio las palancas en el sentido que produjera un avance ascendente (penetrante) de la tuerca, solidaria con la viga (horquilla), logrando así que la cabeza y el marrano bajaran hasta topar con el cargo. A continuación, se mantenía el giro en el mismo sentido para seguir elevando a la tuerca hasta una posición tal que permitiera quitar la lavija; justo en ese momento la viga tenía un nuevo punto de apoyo: el cargo (más el quintal). En esa situación se colocaban una serie de trabones por la parte superior de las vírgenes para que al girar el husillo en sentido ascendente la prensa quedara fija, lo cual evitaba posibles cabeceos del mecanismo y hacía transmitir mejor los esfuerzos a la torre contrapeso. Si se continuaba girando en el mismo sentido, llegaba un momento en que la piedra subía por el husillo, solidario con ella, quedando colgada del mismo. En ese instante la viga presentaba ya un solo apoyo inferior: el cargo a prensar, actuando sobre dicho punto el peso de todo el mecanismo. Pasadas unas horas, la pila de capachos con aceituna molida disminuía en altura (menor volumen) y, consecuentemente, descendía también la prensa hasta tocar de nuevo el suelo a través del quintal. La siguiente tarea era quitar los trabones de la cabeza y luego subir la tuerca para colocar otra vez la lavija en las guideras intermedias, quedando el mecanismo en la posición de inicio (reposo). Para realizar un apriete ulterior (2º-3º), se operaba como al principio, desmenuzando la pasta resultante con las manos o con unas palas y adicionando en ella el agua de caldeo. [J.I. Rojas Sola, 1997 (pág. 66-68)].

La presión sobre la pasta se tenía que ir haciendo de forma gradual y constante para evitar la rotura del mecanismo. Hay que tener en cuenta que, según estimaciones, la viga repre-

sentaba entre un 20 y un 30% del costo total de la instalación industrial. Respecto a ello, Rojo Payo afirmaba en 1840 lo siguiente: *"El precio de la madera para hacer una viga y ponerla en estado de servir es de doce a quince mil reales; y el edificio, que tiene que ser poco menor que la nave de una iglesia pequeña, costará de treinta a cuarenta mil reales, que hacen un total de cuarenta y dos a cincuenta y cinco mil reales"*. El defecto principal de la máquina consistía en que su potencia estaba reducida a límites tan estrechos, que no era posible sujetar a su presión un cargo que excediera de 10 fanegas de aceituna (unos 450 kilos), y aun para que verificara esta cantidad, necesitaba removerla, ponerla nuevamente bajo la viga y emplear doce horas de trabajo, en cuyo tiempo debían hacerse tres aprietes [Mº de Comercio, Instrucción y Obras Públicas, 1850 (T. IX, pág. 317)].

Prensas de torre y de torrecilla

Según palabras de Monlau y Sala (1877), en un antiguo bajo relieve helénico aparecen tres sátiros manejando una larga palanca de madera para poner en movimiento una enorme piedra que otros dos sátiros guían con la intención de hacerla caer sobre un capacho lleno de aceitunas, cuyo zumo tratan de obtener [D. Pequeño, 1879 (pág. 128)]. El sistema de prensado descrito, ideado por la civilización griega, tuvo gran difusión durante la Edad Moderna, sobre todo en Andalucía, debido a su bajo coste y al poco espacio que ocupaba (véase Carpio Dueñas, 1996).

Los artefactos del presente apartado estaban formados por una torre de piedra móvil en dirección vertical y con sentido ascendente o descendente. Para levantar la carga pétrea, usaban un mecanismo compuesto por la combinación de tres elementos de madera: husillo¹⁶, tuerca y palanca. El prensado

16. De encina y con rosca no muy gruesa [P. Alcalá Zamora, 1841 (pág. 5)].

del cargo, ubicado encima de la regaifa o taza embutida en el suelo, se conseguía dejando caer el macizo de piedra sobre la pasta oleosa. (Véase *Lámina 3*).

La base de la torre móvil era un almacén de madera que descansaba sobre unos muros perimetrales de piedra, dejando su parte frontal abierta para poder introducir los capachos con la masa de aceituna molida en la cavidad interior que se formaba, denominada capilla. La transmisión del peso de la piedra hacia el cargo se hizo mediante una pieza de madera, llamada marrano, cuya función era distribuir la presión equitativamente sobre todo el volumen de la pasta oleosa. El bloque de piedra era levantado unos 20-30 centímetros mediante una tuerca que se hacía enroscar sobre un husillo por medio de una palanca manual, a su vez auxiliada por un cabrestante¹⁷. Justo debajo del almacén que sustentaba la torre pétrea, se situaba la tuerca o hembra del husillo. Era una gran viga cuadrangular de madera, de unos 40-50 centímetros de lado, que por su parte central tenía un orificio con paso de rosca para el avance del husillo. La pieza quedaba encajada, pero no fija, en los muros que sustentaban la torre. Cuando la fuerza de reacción, originada por la palanca, empujaba hacia arriba era esta pieza la que se desplazaba de su asentamiento, haciendo subir a la torre.

El husillo terminaba por su parte inferior en una gran rueda horizontal, denominada cabeza del husillo, la cual tenía una sola función: facilitar el giro de aquel. Para ello, presentaba en su perímetro una serie de cavidades por donde se introducía una larga palanca de madera muy fibrosa que tres hombres empujaban en distintos puntos de

la misma. Cuando los operarios ya no podían causar más movimiento en ella, unían el extremo de una maroma¹⁸ al extremo de la palanca y el otro cabo al eje vertical de un cabrestante (véase E. Rodríguez, 1856, pág. 29). Tras esta operación, los obreros daban vueltas a una segunda palanca: la del torno vertical, enrollándose la soga en el eje, continuando así hasta que la resistencia era superior a la propia fuerza motriz.

Las prensas de torre y de torrecilla presentaron una potencia reducida, equivalente al peso del macizo de piedra que formaba la torre móvil. Debido a la incapacidad que tenían estos artilugios para prensar de una sola vez todo el cargo de capachos, era preciso volver a triturar la pasta oleosa en el molino y someterla otra vez a una nueva prensada, lo que ofrecía cierta desventaja respecto a su competidora: la prensa de viga y quintal. Para determinar el peso que oprimía la piedra en los capachos bastaba conocer el esfuerzo necesario para levantarla, o, más directamente aunque menos exacto, multiplicar el volumen del sólido rocoso por su peso específico¹⁹. Por otro lado, el macizo de piedra móvil rara vez cargaba perpendicularmente sobre los capachos, sino que, al cabecear, solía rozar con las guideras dispuestas en las paredes laterales, hacia la mitad de la torre, para mantener la verticalidad del conjunto pétreo. Esta resistencia hacía disminuir considerablemente la fuerza de opresión en el cargo. Eduardo Noriega (1901, pág. 302) comentaba que las prensas de torre aplicaban una presión inferior a dos kilogramos por centímetro cuadrado, un valor situado muy por debajo del que realmente necesitaban y deseaban las almazaras de la Edad Moderna, teniendo además una limitada capacidad de

17. Se utiliza siempre que la potencia tiene que obrar en sentido horizontal [J. Trías y Travesa, 1865 (pág. 47)].

18. Cuerda gruesa de esparto, cáñamo u otras fibras vegetales.

19. La densidad de las piedras empleadas como material de construcción oscila en torno a 2.500 kg/m³.

trabajo, lo cual hizo que, a partir del siglo XIX, fueran sustituidas o abandonadas por nuevas prensas industriales.

Las prensas de torrecilla presentaban un diseño arquitectónico mucho más sencillo que su homóloga de torre, siendo la única diferencia entre ambas que las primeras, de menor tamaño, sólo podían ser vistas desde el interior de la nave donde se ubicaban [Alba Mendoza, 2007 (pág. 418)]. Si bien las prensas de torre y torrecilla no perdían tanto tiempo de trabajo como las de viga y quintal, aquellas tenían la desventaja sobre éstas de ocupar a tres hombres para manejarlas y moler las aceitunas, uno más que su competidora. Aún así, muchos cosecheros las preferían debido a que su costo, unos treinta mil reales, y el volumen del edificio eran menores [V. C. Rojo Payo, 1840 (pág. 249-250)]. A estas torres se les ponían entre mil y mil quinientas arrobas de piedra o más al construir las [P. Alcalá Zamora, 1841 (pág. 6)].

Trasvase, decantación y trasiego

Todo cargo sujeto al efecto de una prensa de rincón, de viga o de torre, ya sea en frío (primera prensada) o con agua hirviendo ($2^{a}/3^{a}$ prensada), soltaba una cantidad de alpechín, formado por agua de vegetación o de escalde, y otra de aceite de oliva, que circulaban emulsionados por una canaleta interior de la regaifa, cuya pieza podía presentar una o dos aberturas, en este último caso diametralmente opuestas, para la salida del mosto oleoso. A continuación, el caldo era trasvasado por un canalillo practicado en la solera hasta llegar a una primera vasija de barro, denominada pocillo o pozuelo, la cual se disponía semienterrada o subterránea. Para separar el aceite del alpechín, se aplicaba una instalación basada en el recipiente floren-

tino²⁰, por la cual ambos líquidos se vertían por el cuello de una tinaja (pozuelo) llena con tres cuartas partes de agua, en cuyo interior sobrenadaba el aceite, debido a su menor densidad, y el alpechín, más denso, bajaba hacia el fondo. A medida que iba entrando nueva cantidad de líquido, el alpechín ascendía por un conducto dispuesto en el fondo para ir hacia otra tinaja, donde se dejaba reposar con la intención de recuperar el aceite que pudiera haber arrastrado; luego continuaba su camino hacia la alpechinera, popularmente conocida por "infierno". [A. Bernabé, 2001 (pág. 313)]. El aceite sobrenadante se trasegaba, con ayuda de unas jarras de hojalata (alcuzas), en pequeños recipientes de barro (cántaros), los cuales eran llevados a la bodega para su almacenamiento. El zumo de oliva virgen solía filtrarse a través de unas finas telas de algodón.

La bodega

Desde los pocillos, el aceite era conducido a unas vasijas de barro, denominadas tinajas, para su conservación y depuración, mientras que las aguas madres pasaban hacia las alpechineras [León Díaz, 1998 (pág. 35)]. En general, este trasvase se hacía de forma manual, ocasionando pérdidas por los inevitables chorreones. Las tinajas eran dispuestas en hileras, quedando semienterradas en la solera. La bodega siempre solía estar ubicada cerca de la prensa, bajo ella o en una estancia contigua, y con un nivel de suelo inferior para facilitar el transporte del zumo virgen. Con intención de preservar la calidad del aceite obtenido de la mejor forma posible, su diseño solía presentar muros y techos de gran espesor con pocos vanos y de tamaño reducido. Y es que las bodegas de aceite deben considerar las características necesarias para

20. Sistema empleado para la destilación de aceites esenciales con el objetivo de recoger el líquido condensado.

conseguir una conservación óptima del producto almacenado en ellas: aislamiento térmico, lumínico... [M.T. Sánchez Pineda de las Infantas, 2003].

La fabricación del jabón

Los turbios o posos del fondo de las tinajas almacenadas en la bodega, no eran desechados sino utilizados, al menos parcialmente, para fabricar jabón. En su elaboración se requería ceniza vegetal²¹, grasa de oliva, cal y agua. Dentro de la misma caldera metálica (generalmente de cobre) donde se calentaba el agua para escaldar los capachos, se vertían partes iguales de agua y grasa. Cuando la emulsión hervía era retirada del fuego y, tras reposar un tiempo, trasegada hacia un recipiente no metálico: madera, losa (cerámica), etc. A continuación se le añadía poco a poco la combinación ceniza-cal (lejía) y, al mismo tiempo, se removía bien²² la nueva mezcla empírica para su saponificación (véase A. Larbalétrier). Finalmente, la pasta jabonosa era vertida en unos moldes de madera y allí se dejaba enfriar hasta que podía ser cortada en forma de bloques. Cabe destacar el gran desarrollo experimentado por la industria veneciana del jabón, que a principios del siglo XVII consumía casi cinco millones de libras en aceite [A. Tenenti, 2003 (pág. 246)].

Instalaciones auxiliares

Construcciones para el ganado: cuadra y pajar

Las cuadras eran edificaciones muy ligadas a las construcciones agrarias. Albergaban al

ganado bovino y equino: mulas, bueyes, etc., muy valorado en las almazaras de la Edad Moderna por su doble utilización como medio de transporte y trabajo. Mientras uno de los animales quedaba uncido al eje del molino, girando y girando sin parar, los demás comían en el pesebre, aguardando su turno para mover la muela pétrea. Los pesebres quedaban adosados en los muros perimetrales y se construían de madera o mampostería. Con frecuencia, la cuadra tenía su entrada por el mismo patio de recepción; en otros casos, era un habitáculo independiente del recinto almazarero. Los pajares eran dependencias próximas o contiguas al aposento ganadero. En las almazaras de pequeñas dimensiones podían incluso ubicarse dentro de la propia cuadra, ocupando el desván.

Obras hidráulicas: aljibes y pozos

El agua era un elemento imprescindible para las almazaras y sus trabajadores. Los sistemas más comúnmente utilizados para extraer el agua durante la Edad Moderna fueron el aljibe y el pozo. En las grandes almazaras, los aljibes²³ ocuparon inmensos espacios con unas proporciones ajustadas a los requerimientos industriales, siendo cuidados como verdaderos templos del agua. Por otro lado, el pozo, una excavación vertical hasta un acuífero natural, representó la forma más usual de captación hídrica, a pesar de proporcionar una menor cantidad de agua y requerir un mayor esfuerzo físico para extraerla que su competidor: el aljibe.

La caldera

Se colocaba en el espacio reservado para el molino y muy cerca de la nave que albergaba

21. La barrilla (*Salsola kali*) era muy empleada para ello: "Es notorio el uso de las cenizas de esta planta para las fábricas de jabón y de vidrio" [J. Quer y C. Gómez, 1784 (Tomo V, pág. 288)].

22. Con una paleta de madera y siempre en el mismo sentido para no "cortar" el jabón.

23. Grandes depósitos subterráneos donde se conservaban las aguas potables recogidas o llevadas a ellos.

la prensa. Su función era hervir el agua necesaria para el escaldado de los capachos [M. C. Aguilar García, 2001 (pág. 252)]. El obrero encargado de sacar agua del aljibe o pozo, llenar la caldera, mantener el fuego bajo la misma y echar la medida correspondiente de agua hirviendo en cada capacho, era conocido popularmente como “el diablo” [F. Rozier, 1797 (pág. 301)].

Dependencias para los trabajadores: la gañanía

Las dependencias obreras de las almazaras, denominadas gañanías, consistían en un espacioso aposento de planta rectangular, a veces conectado con el interior del recinto almazarero, y con puerta directa hacia el campo, en cuyo interior descansaban de la faena los operarios, e incluso servían como alojamiento nocturno. Para resguardarse del frío, los obreros solían disponer de una gran chimenea situada en una de las esquinas o en el fondo, normalmente aprovechando uno de los lados menores del rectángulo base. [M.C. Aguilar García, 2001 (pág. 261)].

Adosados y empotrados, respectivamente, a los gruesos muros perimetrales del habitáculo, se construían grandes poyos de piedra local y se clavaban estacas (de madera o hierro) para colgar los enseres y objetos personales de los trabajadores. También se disponían alacenas, normalmente sin puertas, y algún espacio destinado a colocar los utensilios hogareños: vajilla, botijo, cántaro, etc.

En la gañanía se hacía el puchero diario, aprovechando el fuego de la gran chimenea, sirviendo además de salón comedor, sala de estar o dormitorio. Si el pan era el alimento básico, el aceite de oliva fue su condimento para una gran parte de labradores,

pastores y gañanes, que durante la estación invernal sobrevivían a base de migas con aceite, ajo, y tocino. A mediados de la Edad Moderna, en torno a 1650, el hogar de cualquier artesano consumiría unas tres arrobas de aceite al año en iluminación, pero sobre todo lo empleaban en la cocina. [J. Casey, 2001 (p. 71)].

Las Alpechineras

Se localizaban fuera del recinto almazarero propiamente dicho y estaban formadas por pequeñas balsas impermeables que contenían los residuos de la decantación. Estos desechos, altamente contaminantes, eran aprovechados para combustible o vertidos al medio exterior. [Bernabé Salgueiro, 2001 (pág. 313)].

El transporte y la venta del aceite de oliva

Los envases utilizados para el transporte y la venta del aceite fueron diversos, desde los pellejos o corambres²⁴, que tenían a su favor el ser materiales muy baratos durante la Edad Moderna y el adaptarse muy bien al lomo de las caballerías, a las botijuelas de barro y a los toneles de madera. Por otro lado, la costumbre de no limpiar los envases interiormente tras un uso, provocaba la contaminación del producto conforme se iban utilizando. La madera y los recipientes de barro eran los contenedores empleados generalmente para el transporte masivo del producto a distancias medias y largas (importación/exportación), mientras que los pellejos eran el objeto principal de los vendedores ambulantes, denominados aceiteros, que distribuían el zumo de oliva entre la población.

El transporte por tierra de los víveres a grandes distancias era todavía costoso y lento, ya

24. Conjunto de cueros, curtidos o sin curtir, de algunos animales, y en especial del toro, de la vaca, del buey o del macho cabrío. En Andalucía se utilizaron odres de piel ovina para el transporte del aceite hasta la Edad Contemporánea [Ávila Rosón y Fernández Sánchez, 2009 (pág. 22)].

que debía ser efectuado mediante carros de tiro animal. Por el contrario, estuvieron en progresiva expansión los transportes marítimos de alimentos: trigo, vino, sal, aceite, queso, etc. El aceite de oliva y el vino atravesaron incluso el Atlántico, desde Andalucía hasta las colonias españolas del Nuevo Mundo. [A. Tenenti, 2003 (pág. 186)].

Arquitectura de las almazaras cordobesas en la Edad Moderna

Los estilos arquitectónicos de la Edad Moderna son principalmente tres: Renacimiento, Barroco y Neoclasicismo. La pieza estructural que adquirió una mayor importancia fue la cúpula, debido a su aptitud para cubrir amplios espacios centrales en diversas construcciones. Otro hallazgo de la época fue la bóveda tabicada, hecha con roscas sucesivas de ladrillo, un elemento que fue aplicado en bodegas para vinos y aceites de oliva; también se concedió gran protagonismo a la cornisa. Generalmente, los edificios agrarios construidos en este periodo histórico solían presentar una o dos plantas, muros de piedra y ladrillo, escasos vanos y una sobria ornamentación²⁵. Dado que los materiales para la construcción de los forjados de la época utilizaban la madera como elemento resistente, se procuraba evitar grandes luces [F. Montes Tubío, 2010 (pág. 39)].

Frente a las almazaras de las áreas españolas del norte, oeste o levante, las del sur tuvieron, desde tiempos inmemoriales, una marcada particularidad, y no sólo en términos históricos o geográficos, sino que sus edificios e instalaciones compartieron entre sí semejanzas notables que las distinguieron de las

existentes en los demás territorios situados fuera de Andalucía.

Durante la Edad Moderna, la provincia de Córdoba fijó un modelo paradigmático a la hora de construir almazaras, lo que fue debido a la reactivación económica cordobesa: por el desarrollo agrícola (olivar, viñedo...), industrial (talleres, molinos...), etc., y al incremento demográfico de sus pueblos, originando una mayor demanda de productos alimentarios. La arquitectura rural cordobesa de los siglos XVI al XVIII se caracterizó principalmente por presentar una cierta impronta culta, debido a su vinculación con las clases privilegiadas: nobleza y clero. Prueba de ello fueron los grandes molinos destinados a obtener el aceite de oliva, construcciones espacialmente cerradas en torno a un patio, como si de una fortaleza rural se tratara, con una dependencia imprescindible: la almazara, un recinto estructurado generalmente por una o varias naves acompañadas de sus respectivas torres dinámicas (móviles) o estáticas (de contrapeso). Con frecuencia, se disponían arcados longitudinales cumpliendo una doble finalidad: lograr la separación física entre dos zonas colindantes con distintos usos y servir de pórtico sustentador para la cubierta. Por lo general, las fachadas suelen presentar pocos vanos, siendo estos además de tamaño reducido, destacando la entrada principal por una sobria, pero bella, portada de acceso, normalmente recercada con sillería.

Los materiales de construcción empleados en las almazaras cordobesas de la Edad Moderna fueron de origen local: piedra (en muros), madera (en techumbre), teja (en cubierta)... Las areniscas rojas de Montoro-Bujalance, conocidas popularmente como "piedra molinaza", es una roca que tradicionalmente fue muy utilizada por el saber popular para la cons-

25. Ayuga Téllez, 2005 (pág. 7).

trucción de almazaras en la comarca del Alto Guadalquivir cordobés²⁶, debido a sus buenas propiedades mecánicas²⁷. Otra roca muy empleada en la Campiña Alta y en las Sierras Subbéticas fue la piedra caliza. El área de distribución natural de las almazaras cordobesas con torres macizas, dinámicas o estáticas, hay que ponerla en relación directa con la disponibilidad de piedra, pues aportó indudables facilidades tanto para su construcción como para dotarlas del peso adecuado y llevar a cabo su mantenimiento. Así, las fábricas de mampostería careada o sillarejo se dieron en aquellos molinos aceiteros ubicados por zonas con piedras aptas para la construcción (areniscas rojas o calizas béticas). Las almazaras rurales tendieron a sustituir la gran superficie (planta) que ocupaban los molinos urbanos por un mayor desarrollo en altura, formando bloques con varios pisos (2-3) donde se ubicaban la bodega (sótano), la nave de prensado, etc. [F. Olmedo, 2007 (pág. 400)].

Arquitectónicamente, los molinos aceiteros de la Córdoba Moderna pueden ser enmarcados dentro de un estilo agrario-señorial. Elementos estratégicamente situados, tales como estéticas portadas de acceso, colosales torres, bellos pozos y aljibes, bodegas abovedadas, añaden una pincelada monumental propia de las construcciones nobiliarias y eclesiásticas ubicadas en las urbes. Por otro lado, no suelen presentar ningún atisbo de ornamentación artística, constituyendo claros ejemplos de arquitectura rural sobria y sencilla. (Véase Lampérez y Romea, 1922, p. 96-97).

Las almazaras cordobesas de la Edad Moderna fueron mayormente de propiedad señorial y se diferenciaron entre sí por el sistema de prensado utilizado en su interior,

cuya tecnología sirvió también para su identificación popular: molino de viga, de torre... Así, existieron almazaras con prensas de fuerza directa o por palanca, modelando sus diferentes tipologías arquitectónicas el singular paisaje oleícola cordobés. A continuación, se analizarán por separado a los edificios que albergaron prensas de viga y a los que funcionaron con prensas de torre, por ser éstos los más predominantes entre las actuales tierras cordobesas de sierra y campiña (véase *Lámina 4*).

Almazaras con prensas de viga

Estas construcciones son fácilmente reconocibles debido a su gran torre maciza, la cual actuaba como contrapeso para la, ya inexistente o inoperativa, prensa de viga y quintal ubicada en una larga nave que nacía de aquella. Todas las torres de contrapeso preservadas a día de hoy en la provincia de Córdoba, forman un gran prisma recto de base cuadrangular o rectangular y unas dimensiones directamente proporcionales al pretérito empuje que le transmitía la prensa de viga y quintal. Se trata, por tanto, de torres macizas rellenas de material pétreo: bloques, cascajos, cantos rodados, etc., y sin ningún tipo de vanos a excepción de la denominada "puerta del diablo", situada en la parte inferior de la torre y por lo general cegada, la cual servía para introducir los largos travesaños de madera en el interior de la nave [Bernabé Salgueiro, 2001 (pág. 310)].

El diseño arquitectónico de la torre contrapeso, principal signo distintivo de las almazaras con prensas de viga y quintal, puede ser de tipología muy diversa. La decoración se

26. Formado por los municipios de Adamuz, Bujalance, Cañete de las Torres, El Carpio, Montoro, Pedro Abad, Villa del Río y Villafranca de Córdoba.

27. Véase: J.A. Clementson Lope, J. Barrios Neira y L. Montealegre Contreras, 2009 (pág. 59).

realizó de acuerdo con la situación geográfica de la almazara y la época de su construcción. Los ejemplares más antiguos fueron las del periodo renacentista, seguidas de las barrocas, estas últimas generalmente situadas en zonas urbanas y con una preocupación ornamental un poco más destacada que sus predecesoras. Las torres más recientes suelen presentar un estilo neoclásico, y a él pertenecen muchas de las almazaras aisladas en plena sierra o campiña. Todas ellas suelen tener un tejado a cuatro aguas con aleros perimetrales, normalmente coronado por un chapitel terminado en cruz y veleta (véase García Blánquez, 2006, pág. 165). En algunas ocasiones, la torre de contrapeso, circunstancial e imprescindible para el molino de viga, iba coronada por un elemento decorativo y de vigía denominado mirador. Debido a su mayor altura, solía entrar en competencia visual cuando coexistía con otras torres cuya única función era la de soportar esfuerzos verticales. Los accesos al mirador se realizaban por estrechas y empinadas escaleras. Las aberturas, simples o dobles (con pilastras), de la torre vigía se construían adinteladas o formadas por arcos de medio punto, quedando los vanos de una fachada enfrentados a los de su opuesta y todos ellos centrados en su cara correspondiente.

Las molduras usadas para la decoración en el sentido horizontal suelen ser rectilíneas, compuestas y de superficies lisas o curvas, cuya función era producir interesantes efectos de luces y sombras sobre la superficie de la fachada. La terminación en un gran chapitel era habitual en el torreón-mirador cuando convivía junto a otras torres sin esa función, quedando coronadas estas últimas por otros cuerpos decrecientes de menor envergadura.

A veces, la bodega de aceites quedaba integrada en la misma nave de prensado, pero situada un piso por debajo (planta sótano), siendo lo normal que se ubicara en un departamento contiguo a ella, lateral o longitudinalmente.

Almazaras con prensas de torre y torrecilla

Son un tipo de almazaras características del valle medio-alto del río Guadalquivir, siendo frecuentes en las provincias de Córdoba (parte oriental) y Jaén. Sus edificios pueden distinguirse a simple vista, exterior (torre) o interior (torrecilla), por montar un sistema de presión directa que consistía en un bloque movable de obra envuelto con un cerramiento de fábrica. Los edificios oleícolas que funcionaban con prensas de torre o torrecilla solían recibir en Andalucía el nombre de molinas, reservando el de molinos para los que albergaron a las prensas de viga [D. Pequeño, 1879 (pág. 195)]. Las torres de prensado son construcciones prismáticas de base rectangular que generalmente utilizan la piedra local tanto para la parte móvil como para sus muros laterales.

Las prensas que sobresalían visualmente del recinto almarazero eran denominadas de torre, siendo su arquitectura más o menos elaborada; la parte superior de la edificación solía presentar adornos, así como un remate central. Las dimensiones máximas que generalmente presenta la torre móvil son las siguientes: altura de 3,5-4 metros, frente de 2,5-3 metros y grueso de 2-2,5 metros. Las prensas de torrecilla son construcciones mucho más pequeñas y rústicas que las de torre y están situadas dentro de la nave general, cuya cubierta presentaba gran altura para poder albergar en su interior al sistema de prensado. Su macizo pétreo no suele sobrepasar los 2,5 metros de altura.

En Córdoba se documentan las almazaras con prensas de torre o torrecilla desde la centuria dieciochesca en explotaciones de menor superficie o rentabilidad, sobre los terrenos accidentados de Sierra Morena oriental, que funcionaron hasta el siglo XX (Véase Roca Carol, 1943, p. 69).

El Molino Nuevo del Diezmo en Montilla (Córdoba)

Antecedentes

El aumento de la producción oleícola en el siglo XVI vino propiciada por el comercio con el Nuevo Mundo, sustituyendo los olivares a pastizales y baldíos [L. Garrido *et al.*, 2007 (pág. 265-266)]. Montilla experimentó un importante crecimiento demográfico a finales del siglo XV, siendo uno de los llamados pueblos-fortaleza de la campiña cordobesa. Este incremento poblacional se mantuvo durante casi todo el XVI. [VV.AA.: *Los Pueblos de Córdoba* (Tomo 3, pág. 977)]. En la Edad Moderna, Montilla fue uno de los núcleos cordobeses más importantes (véase *Lámina 5, imagen superior*), demográficamente sólo superado por la propia capital de provincia y Lucena, con un desarrollo económico centrado en torno a la agricultura, principalmente olivar, viñedo y cereales, y matizado por labores artesanales dedicadas al autoconsumo local, salvo para curtidores y zapateros, que comercializaron sus productos (industria de la piel) fuera de la Villa. La gran masa poblacional de Montilla estaba entonces constituida por jornaleros, campesinos y artesanos de los más variados oficios y sometidos a un régimen gremial. [Calvo Poyato, 1987 (pág. 145)].

Asimismo, durante casi todo este periodo histórico, el marquesado de Priego tuvo el monopolio aceitero en esta villa, estando los montillanos obligados a molturar y prensar sus frutos en las instalaciones señoriales, quedando estrictamente prohibida la edificación de molinos particulares. Este monopolio provocó numerosos conflictos sociales (protestas, querellas, etc.), que se intensificaron por la reducida capacidad productiva del molino señorial en relación a la gran demanda exis-

tente, tal y como refleja un documento de la época: "*19 vigas, que tiene el Molino del Marqués, las 4 están destinadas a otros fines, y que la cosecha del Marqués necesita 5 para sí, y que las 10 restantes no son bastante para el abasto común y los almacenes descubiertos*"²⁸. También se quejaban de que la cantidad exigida en concepto de maquila era muy elevada: una arroba de aceite por cada ocho; además, el Marqués se apropiaba de todo el orujo. Sin embargo, la Casa señorial concedió numerosas licencias para el uso particular de almazaras, cobrando por ello unos derechos de 500 maravedíes anuales a cada viga de molino a la que concedía licencia. En 1752 existían en Montilla un total de 17 licencias con una rentabilidad anual media del 38% sobre los beneficios que generaba el artefacto industrial (prensa de viga). Es aún desconocido el momento en que comenzaron a concederse estas licencias, las cuales sólo debían ser utilizadas para la molturación y el prensado de la cosecha propia, pero sí se tiene constancia de que todavía en 1696 sólo existía una gran almazara en Montilla, cuya propiedad recaía en manos del Marqués. [Estepa Giménez, 1987 (pág. 96-97); López Gálvez y Moreno Vega, 2011 (pág. 10)].

Los pleitos iniciados por los aceituneros montillanos a finales del siglo XVI ante la negación de llevar sus frutos a la almazara señorial, tras permanecer en silencio durante más de un siglo, fueron retomados en 1745, pero encabezados ya por la nueva burguesía, entre los cuales destaca la figura de don Diego de Alvear y Escalera. Este conflicto finalizó en 1771 con una sentencia a favor de la libre utilización popular de los molinos. En Andalucía, los pleitos contra el monopolio señorial parecen más bien derivados de los deseos que tenían los vasallos por abolir unos privilegios que encorsetaban el proceso produc-

28. 11 de junio de 1746. Fundación Biblioteca Manuel Ruiz Luque, Montilla (Córdoba). Signatura: C112-056 (15828).

tivo en el contexto de la expansión económica-poblacional iniciada durante la centuria decimosexta²⁹.

En el siglo XVIII, tal y como refleja el Catastro del Marqués de la Ensenada, Montilla tuvo, pues, un fuerte incremento de las plantaciones de olivar, expansión ya iniciada en el XVI, que chocaba con la escasez de almazaras. Como consecuencia del monopolio señorial de la molienda, se impedía la construcción de nuevos molinos, mientras que año tras año la molturación de la aceituna se hacía con mucho retraso, procesándose el fruto ya muy pasado y en avanzado proceso de putrefacción [Fuentes García *et al.*, 1998 (pág. 17); López y Moreno, 2011 (pág. 11)]. Muchos de los antiguos molinos aceiteros del término fueron convertidos en lagares manteniendo las construcciones primitivas, siendo antiguos ejemplos el Molino del Toro, el Carmen, Bolonia, etc. [VV.AA.: *Catálogo artístico y monumental de la provincia de Córdoba* (Tomo VI, pág. 306)].

Estudio histórico-técnico

En plena sierra de Montilla³⁰, se ubica el actualmente denominado Molino del Toro, al cual se llega circulando por el camino rural de Cuesta Blanca, cuya construcción la forman un grupo de inmuebles donde todavía pueden observarse algunos restos del antiguo molino aceitero construido a finales de la Edad Moderna y compuesto desde sus inicios por tres prensas de viga y quintal con sus

respectivas torres de contrapeso (véase López Gálvez *et al.*, 2010, *La Corredera*).

Esta almazara señorial, propiedad del marquesado de Priego³¹ y denominada “Molino Nuevo del Diezmo”³², fue la única de todo el territorio montillano que operó con tres vigas fuera de la zona urbana. Por su arquitectura y teniendo en cuenta sólo el volumen original: portada de acceso, naves de prensado, bodega y patio, el molino aceitero se puede datar hacia la segunda mitad del siglo XVIII, si bien actualmente presenta ya otras edificaciones anexas de reciente construcción.

Por otro lado, la primera prueba de su existencia está en unos frescos con escenas de tauromaquia del año 1766, los cuales se hallan pintados sobre un muro interior nada más cruzar la vieja entrada principal. En la correspondencia mantenida entre el Administrador de los molinos de Montilla y el Contador del Estado de Priego, durante los años 1796 a 1798, se halló la siguiente descripción de la almazara en estudio: “*Una casa molino de tres cuerpos, con tres vigas maquineras, y sus tres piedras, para moler la aceituna, con sus pilares correspondientes, para echar en ellos el aceite que se beneficie, dos calderas de cobre para calentar el agua, y pertrechada de las demás alpatanas necesarias llamada Casa de Jesús Nazareno*”³³.

En 1807 se sabe que la almazara permanecía todavía en manos del marquesado de Priego, ya que la Casa de Jesús sigue apareciendo en los beneficios de las cosechas del citado año³⁴.

29. Véase Aranda Doncel (1982) y Calvo Poyato (1986 y 1987).

30. Cercano al Cerro de Buenavista (585 metros). Véase Lámina 5 (imagen central).

31. A principios del siglo XVIII, Nicolás Fernández de Córdoba, IX marqués de Priego, sucede a su tío Luis Francisco de la Cerda, IX duque de Medinaceli, quedando unidas ambas Casas nobiliarias con todos sus dominios anejos.

32. [VV.AA.: *Cortijos, haciendas y lagares. Provincia de Córdoba* (Tomo 1, pág. 58)].

33. Documentos andaluces de la Casa Ducal de Medinaceli en el Archivo General de Andalucía (Marquesado de Priego y señoríos agregados). Legajo 299 (CDM). Microfilmado en el rollo 2.341, fotogramas 394 y 395 (AGA).

34. *Ibid.* Legajo 635 (CDM). Microfilmado en el rollo 2.609, fotograma 22 (AGA).

Durante los años 1807 a 1827³⁵ fue cuando tuvo lugar el traspaso de la propiedad nobiliaria a manos de un particular, siendo en 1828 cuando aparece la primera referencia del antiguo molino bajo el nombre de "La Contadora", propiedad de don Fernando Nieto Baena³⁶. En los años 1848 y 1849 la propiedad del molino aparece ya segregada en tres partes (véase *Lámina 5*, imagen inferior)³⁷, lo que se corresponde con lo existente a día de hoy: Casa Lagar La Contadora, Lagar de los Nietos y Lagar-Molino del Toro³⁸. La importancia social adquirida por el antiguo molino aceitero en el último tercio del siglo XVIII, como el mayor y más productivo de la Montilla rural, fue apagándose poco a poco hasta caer su pasado nobiliario en el olvido total³⁹.

La elaboración del aceite en esta almazara comenzaba con el acarreo de las aceitunas depositadas en las trojes hasta un empiedro circular⁴⁰ de 110 centímetros de radio, donde una muela vertical⁴¹ movida por caballería trituraba el fruto hasta formar una pasta. Junto a los empiedros se ubicaban las prensas para extraer el aceite de oliva mediante la formación de un cargo sometido a la presión del mecanismo (palanca de segundo género).

El escaldado de los capachos demandaba un gran consumo de agua que los operarios obtenían de, al menos, un aljibe ya inexistente.

Las tres prensas de viga y quintal ubicadas en este antiguo molino aceitero estarían formadas por varias piezas de madera, ensambladas entre sí a través de zunchos hechos con maromas y grandes clavos de hierro, cuya longitud y anchura eran de 15 metros y 35 centímetros respectivamente. Tanto en el extremo más grueso de la viga (cabeza) como en su zona intermedia se ubicaban dos grandes maderos verticales incrustados en obra de mampostería, denominados vírgenes y guiaderas⁴² respectivamente. En el tramo formado por estos últimos elementos se ubicaba la regaifa, sobre cuya superficie se disponían los capachos rellenos de aceituna molida para realizar el prensado. El mosto oleoso generado era conducido hacia un pocillo para decantar el aceite virgen del alpechín y luego trasvasado el primero a la bodega correspondiente, todas ellas constituidas por tinajas semienterradas dispuestas en hileras, de las cuales todavía quedan restos.

Una de las bodegas que aún permanece (véase *Lámina 6*), se ubicaba bajo la ya inexis-

35. La primera quincuagena del siglo XVIII se caracterizó por las numerosas desamortizaciones de fincas rústicas que tuvieron lugar en toda la provincia de Córdoba. Para los municipios de la campiña, la desamortización se inició en 1837, desde cuyo año y hasta 1844 salieron a subasta muchas tierras con aptitudes adecuadas para el cultivo del olivar [López Ontiveros, 1970 (pág. 71)].

36. Archivo Municipal de Montilla (AMM). Legajo 571B, expediente 1.

37. *Ibíd.* Legajo 696B, expediente 6.

38. Por esta última denominación es conocido actualmente todo el grupo de construcciones que antiguamente componían el Molino Nuevo del Diezmo.

39. "Molino del Toro: ...es un sencillo caserío de olivar con piezas en L y tapias cerrando un patio que probablemente contó con un molino aceitero de prensa de viga, si bien los restos de una torre de contrapeso no se manifiestan al exterior". [VV.AA.: *Cortijos, haciendas y lagares. Provincia de Córdoba* (Tomo 2, pág. 776)].

40. Formado por tres piezas independientes, una centrada y dos laterales, iguales y simétricas, anexas a la primera, cuyos lados perimetrales no curvos presentan una longitud de 216 centímetros (cuerda de la circunferencia).

41. De canto y diámetro igual a 45 y 105 centímetros respectivamente. Su zona central presenta un orificio de 22 centímetros de diámetro por el cual atravesaba un vástago (almijarra), que a su vez era fijado al peón (eje vertical). Todas estas cifras dan un volumen pétreo de 0,37255 metros cúbicos.

42. Presentaban una sección de 20x15 centímetros.

tente prensa de viga y quintal, cuyo sótano presenta muros pétreos de gran espesor, techo abovedado y pocos vanos, mientras que las dos restantes compartían longitudinalmente la nave de prensado.

Hoy en día, solamente se conserva intacta una torre contrapeso de las tres iniciales, la cual está perfectamente integrada en la vivienda particular del actual propietario y que se corresponde con el viejo Lagar de la Contadora. La simple aunque airosa torre, presenta un volumen prismático macizo de planta rectangular, cuyos lados mayores y menores miden 5 y 2,20 metros respectivamente, con techumbre a cuatro aguas de teja cerámica y alero sostenido por una pequeña cornisa. Sobre la cumbre se halla un remate compuesto por tres cuerpos: una base cuadrangular, un perfil cóncavo intermedio y otro esférico superior con cruz y veleta. Sus muros perimetrales están contruidos a base de sillarejos unidos con argamasa y cantos.

También existió una torre-mirador correspondiente al denominado Molino del Toro, de la cual quedan restos visibles del macizo pétreo, de planta rectangular cinco por tres metros y con un alminar abalconado formado por arcos de medio punto desde donde se veía toda la sierra y la campiña; el tejado era de cuatro vertientes⁴³. Por último, hubo una tercera torre contrapeso de connotaciones parecidas a la primera y cuyos restos pueden visualizarse al entrar en la edificación actual (vivienda) que la contiene. Desde los castilletes de contrapeso, arrancan todavía naves a dos aguas con planta rectangular de veinte por cinco metros, las cuales albergaban a su respectiva prensa y bodega de aceites.

Para llevar a cabo la reconstrucción gráfica⁴⁴ del artilugio triturador y de la prensa tipo (viga-quintal) que albergó el Molino Nuevo del Diezmo, se han tenido que analizar todos los restos existentes en las instalaciones actuales⁴⁵: muela, empiedro, anclaje de las guideras, pieza de unión entre la tuerca y la horquilla (viga), regaifa, quintal troncocónico, grandes clavos de hierro, torre contrapeso y algunos maderos de la época. Los resultados se muestran en las *Láminas 7 y 8*.

En último lugar, se debe mencionar el gran esfuerzo físico y económico que los actuales propietarios están llevando a cabo sobre las edificaciones primitivas correspondientes, al reutilizarlas para otros fines sociales (vivienda) o turísticos (casa rural) con todos sus detalles originales: torres, arcados longitudinales, bodega, muelas, quintal, regaifa, vigas, etc., consiguiendo así una gran puesta en valor del conjunto.

Conclusiones

El destino de tantos y tantos molinos aceiteros bañados de historia es incierto. Muchísimos ya están en ruinas, otra gran parte de ellos hace tiempo que fueron abandonados a merced del viento y del agua: sus días están contados. Culturalmente infravaloradas y con su función primordial hoy obsoleta, las antiguas almazaras con torres móviles o de contrapeso están en trance de ser olvidadas. Pueden contarse rápidamente aquellas almazaras que todavía conservan intacta su torreón, el componente más duradero por su

43. Según datos facilitados por el actual propietario sobre la mencionada torre, su abuelo compró el molino aceitero a principios del siglo XX (1912) y lo reformó en 1939, suprimiendo el alminar.

44. Utilizando el programa informático AutoCAD 2007.

45. Para lo cual fue necesario disponer de una cinta métrica (longitud: 7,5 m) y de una cámara fotográfica (réflex-digital).

robustez, y son aun menos las que no han sido desprovistas de la prensa, razón y alma de la torre. Para preservar este valiosísimo patrimonio, el primer paso es concienciarnos de su importancia histórica, ingenieril y arquitectónica. Por ello, es necesario que las Administraciones implicadas en la salvaguarda de nuestras riquezas culturales intervengan en la preservación de las antiguas almazaras y sus señeras torres.

La destrucción o el abandono de las almazaras preindustriales ha pasado por un fuerte periodo destructivo de todo aquello considerado inútil o desfasado, a veces por falta de concienciación de los valores tradicionales y otras por aumentar de valor el suelo donde se hallaban ubicadas. Por unos u otros motivos, lo cierto es que la mayoría de las almazaras cordobesas nacidas durante la Edad Moderna han sido marginadas social y culturalmente. Pero ya en el presente milenio, algunos propietarios particulares de primitivas almazaras han comenzado a realizar en ellas un gran trabajo de reconstrucción para valorizarlas culturalmente y reutilizarlas con otros fines sociales, quedando así respetados todos los restos arqueológicos de la edificación original.

La industria del aceite de oliva durante la Edad Moderna, requería de un importante y diferenciado espacio arquitectónico para contener la maquinaria primitiva, pesada y enorme, así como los elementos complemen-

tarios que debía utilizar. Las torres de contrapeso actuaban como punto de apoyo para contrarrestar el empuje de la viga durante la prensada, por lo cual fueron en sí parte integrante del propio mecanismo al igual que los castilletes móviles en las prensas de torre.

A través del presente trabajo hemos podido ver cómo las diferentes máquinas e instalaciones han intervenido a lo largo de la historia Moderna en el proceso de la elaboración tradicional del aceite de oliva. Posteriormente, se han analizado las tipologías arquitectónicas más relevantes de las almazaras cordobesas, describiendo primero sus particularidades genéricas y luego las específicas de cada edificio almazarero. Por último, se han aplicado técnicas ingenieriles de diseño asistido por ordenador a una almazara cordobesa señorial de la Edad Moderna, que funcionó con tres molinos de piedra vertical y tres prensas de viga-quintal, mediante la reconstrucción gráfica de sus antiguos artilugios en base a los restos arqueológicos hallados, determinando también la evolución histórica del molino aceitero, para lo cual ha sido imprescindible toda la documentación recopilada en diversos Archivos. Esto último servirá para que la pretérita almazara (hoy Molino del Toro), nacida bajo la propiedad del Marqués de Priego y Duque de Medinaceli, recobre su antigua importancia social, ahora desde un punto de vista cultural, y sea valorada como se merece.



Lámina 1. Antiguos grabados mostrando a molinos aceiteros en pleno funcionamiento. Arriba: con prensa de rincón (J. Stradanus, s. XVI-XVII). Abajo: con prensa de viga y quintal (siglo XVIII).
Plate 1. Old engravings that show the oil mills in full operation. Above: with corner press (J. Stradanus, 16th-17th century). Below: with beam and quintal press (18th century).

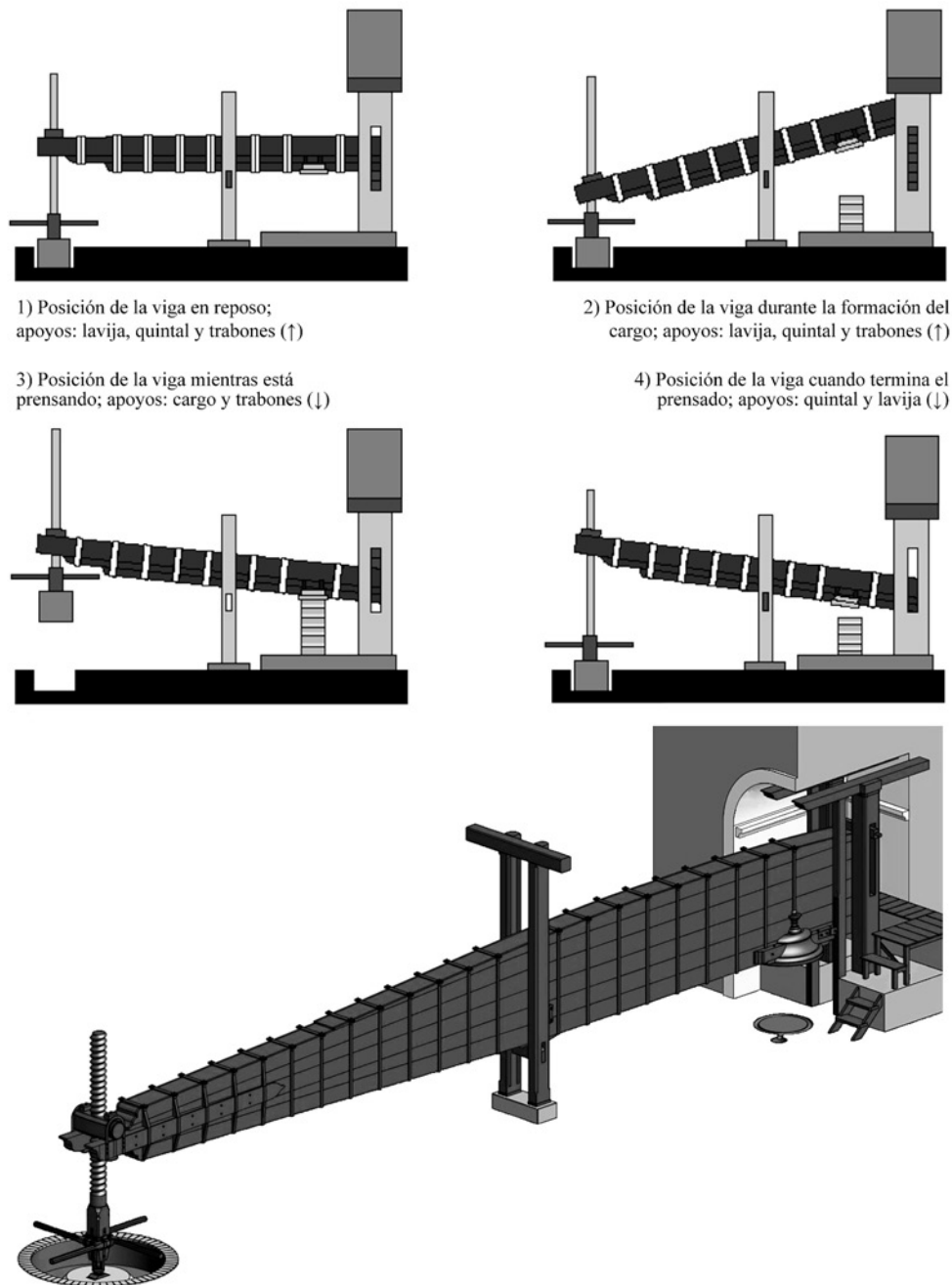


Lámina 2. Prensa de viga y quintal. Arriba: ciclo de funcionamiento; elaboración propia (2011).

Abajo: modelado 3D; Rojas Sola y Ramírez Arrazola, 2011 (pág. 2385).

Plate 2. Beam and quintal press. Above: operating cycle; own development (2011).

Below: 3D modeling; Rojas Sola and Ramírez Arrazola, 2011 (p. 2385).

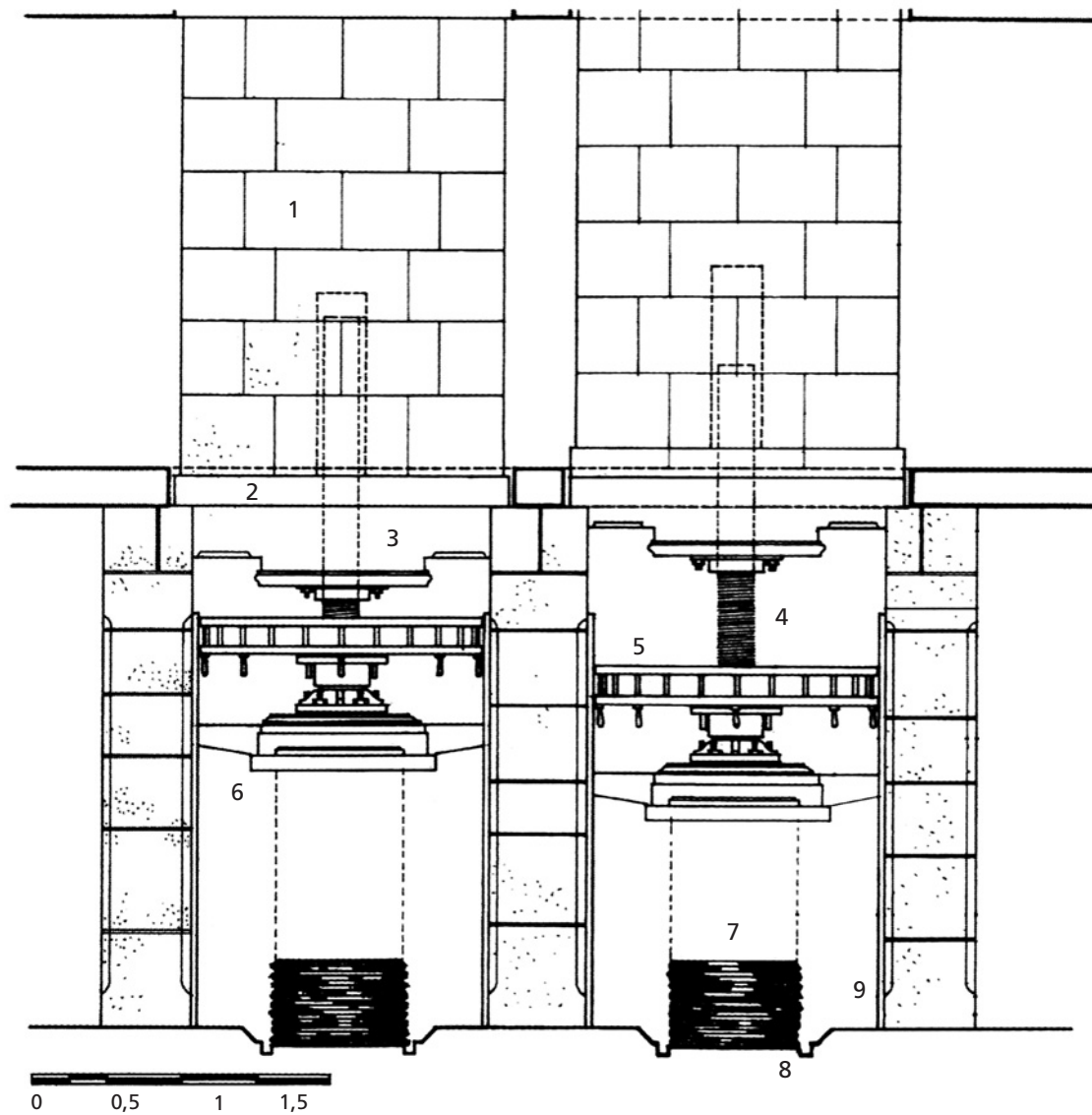


Lámina 3. Alzado frontal sobre dos prensas de torrecilla⁴⁶. 1) Torre; 2) base de la torre; 3) tuerca; 4) husillo; 5) cabeza del husillo; 6) marrano; 7) cargo; 8) regaifa; 9) guiadera.

Plate 3. Front view on two turret presses. 1) Tower; 2) base of the tower; 3) nut; 4) screw; 5) head of the screw; 6) pressure board; 7) charge; 8) grooved stone; 9) guide.

46. J. Eslava Galán, 2004 (p. 220).

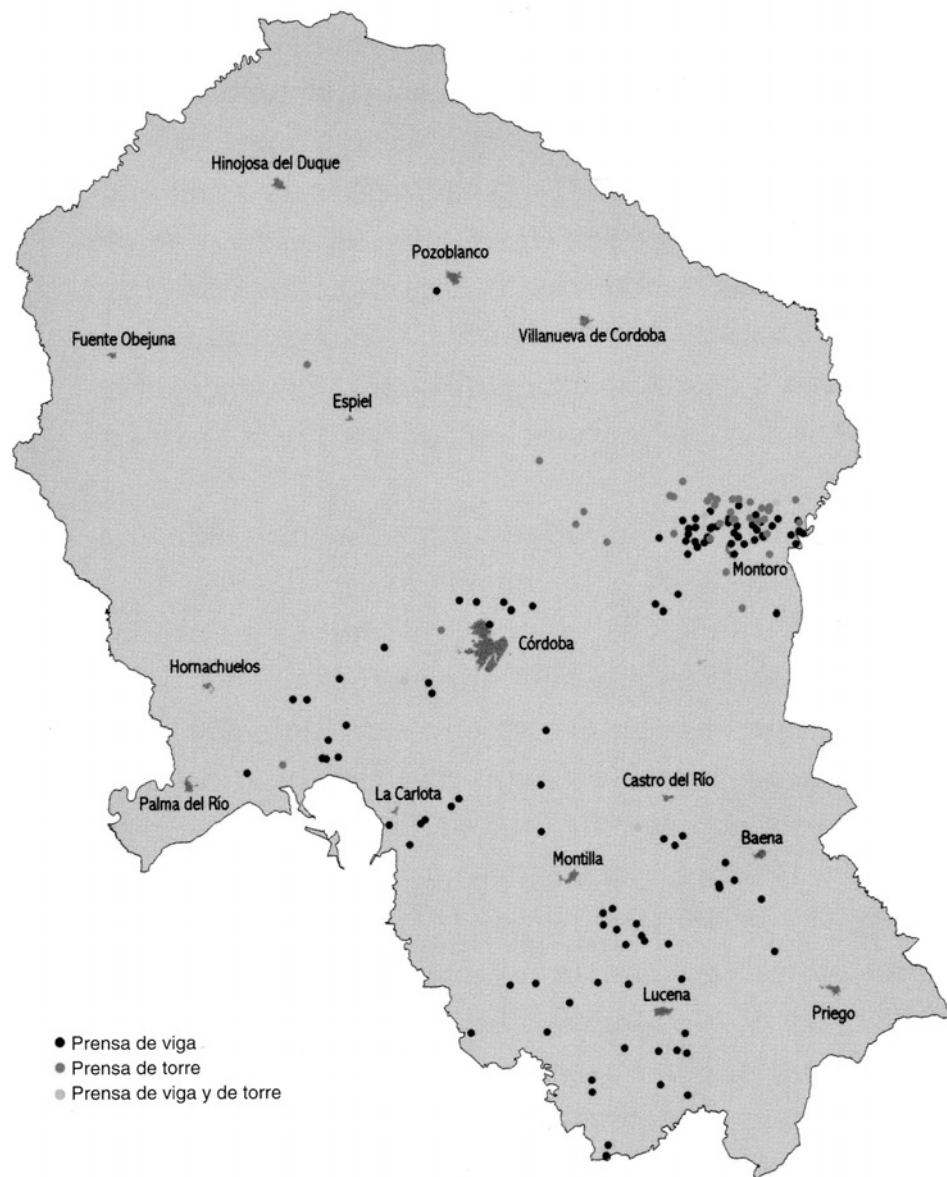


Lámina 4. Mapa de las almazaras cordobesas que funcionaron con prensa de viga, de torre o con ambas⁴⁷.

Plate 4. Map of cordovan oil mills that operated with beam press, tower press or both.

47. Y que actualmente presentan restos físicos. VV.AA. (2006): *Cortijos, haciendas y lagares. Arquitectura de las grandes explotaciones agrarias en Andalucía. Provincia de Córdoba* (Tomo 1, pág. 122).

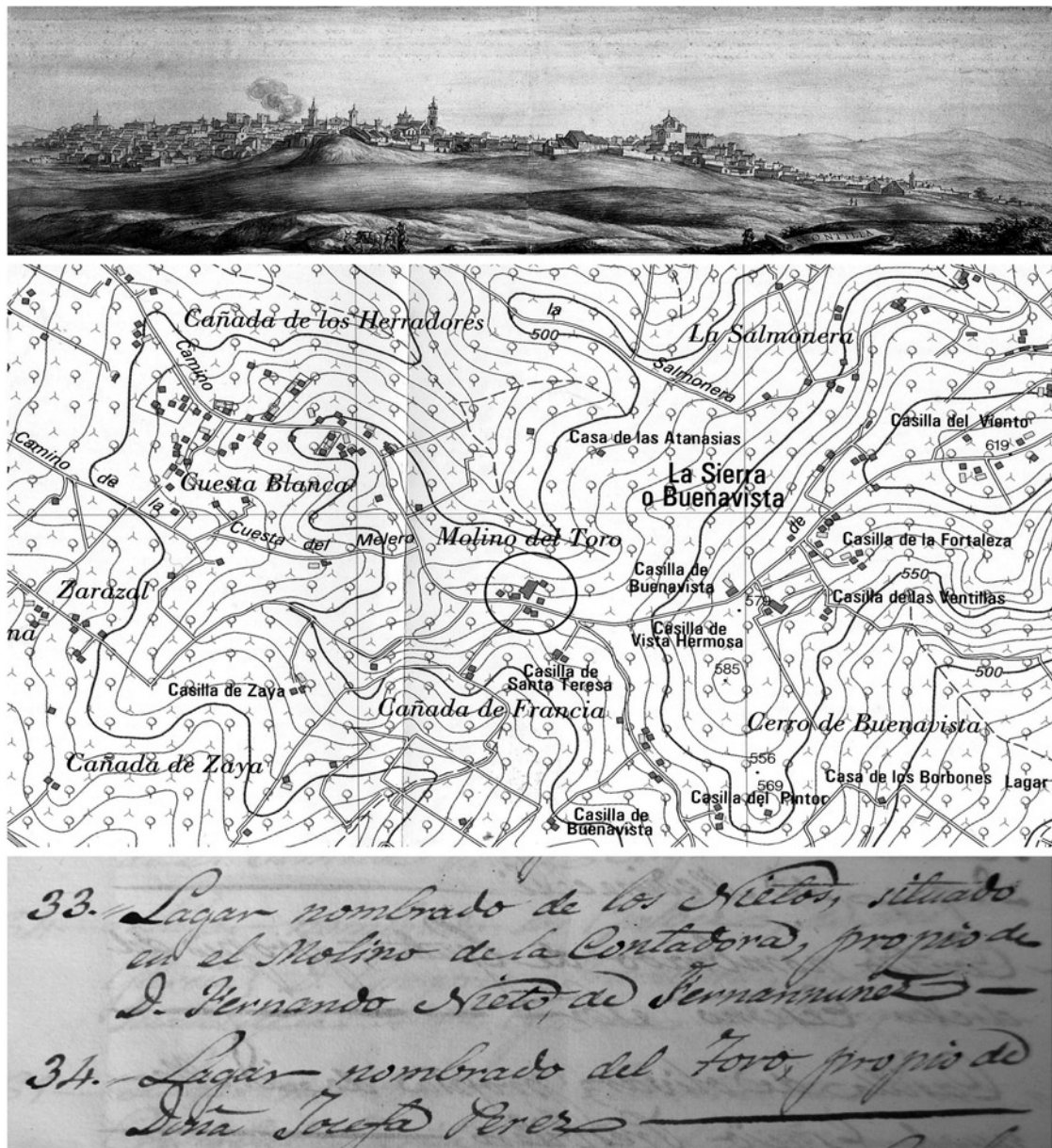


Lámina 5. Imagen superior: acuarela de Pier María Baldi, pintor y arquitecto de Cosme III de Médicis, representando a Montilla en 1668. Imagen central: Hoja 966-IV a escala 1:25.000 del Mapa Topográfico Nacional de España, donde se ubica el actual Molino del Toro. Imagen inferior: documentación histórica que cita los nombres posteriores que adoptó el Molino Nuevo del Diezmo.

Plate 5. Top image: watercolor of Pier Maria Baldi, painter and architect of Cosme III of Medicis, representing Montilla in 1668. Central image: Sheet 966-IV to scale 1:25,000 of the National Topographic Map of Spain, where is located the current Molino del Toro. Bottom image: historical documentation that mentions the later names that adopted the Molino Nuevo del Diezmo.



Lámina 6. Fotografías realizadas en el Molino del Toro: torre de contrapeso, empiedro y quintal (arriba); bodega de aceites y portada principal de acceso (abajo). Autor: A. Moreno.

Plate 6. Photographs taken in the Molino del Toro: counterweight tower, millstone and quintal (above); warehouse of oils and main doorway for access (below). Author: A. Moreno.

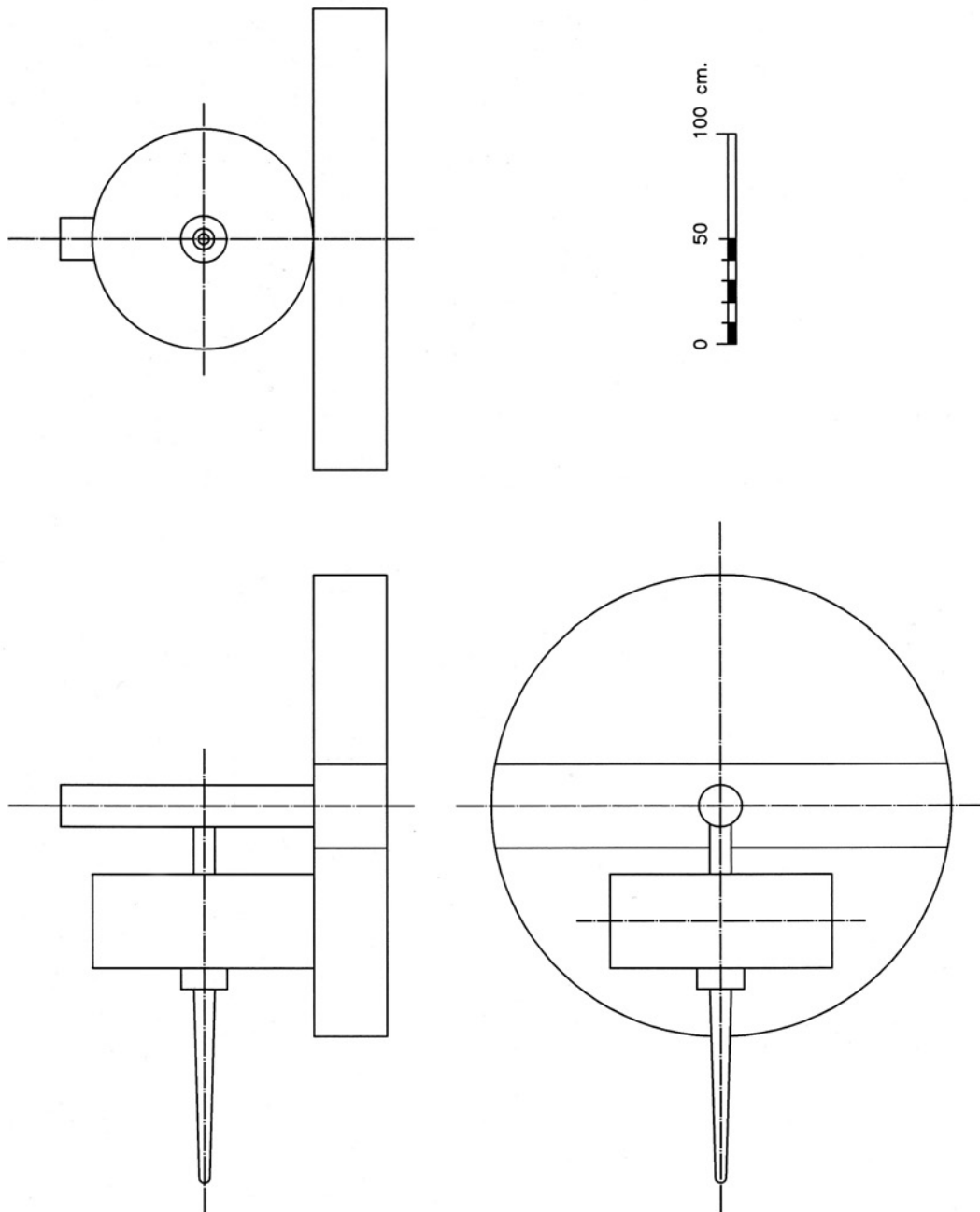


Lámina 7. Reconstrucción gráfica del sistema de molienda utilizado en el Molino Nuevo del Diezmo. Elaboración propia.

Plate 7. Graphical reconstruction of the system of milling used in the Molino Nuevo del Diezmo. Own development.

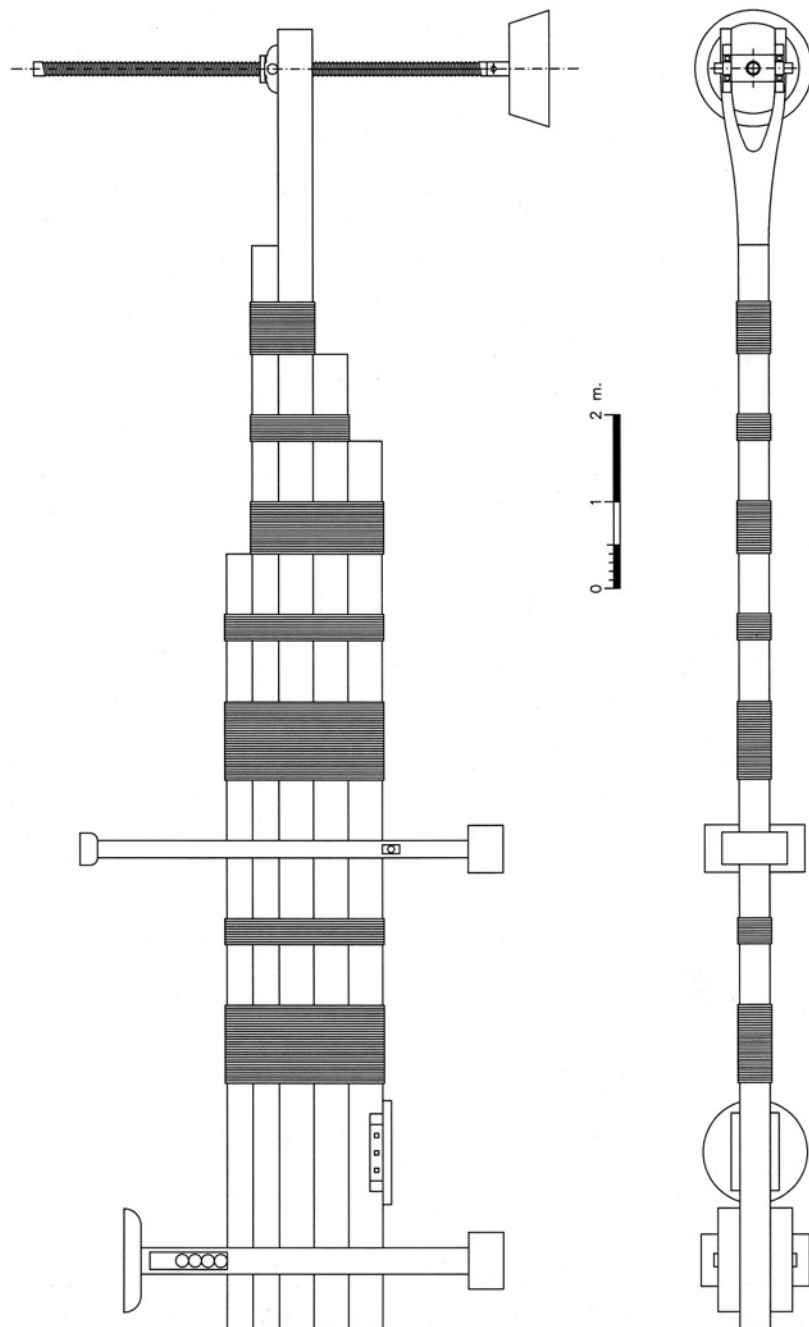


Lámina 8. Reconstrucción gráfica del sistema de prensado (viga-quintal) que funcionó en el Molino Nuevo del Diezmo. Elaboración propia.
 Plate 8. Graphical reconstruction of the system of pressing (beam and quintal) that worked in the Molino Nuevo del Diezmo. Own development.

Bibliografía

- Aguilar García MC, 2001. "Las haciendas de olivar". En *Proyecto Andalucía. Antropología: arquitectura vernácula* (pág. 241-277). Sevilla. Publicaciones Comunitarias.
- Alba Mendoza J, 2007. "Los sistemas de elaboración tradicional de aceite de oliva virgen". En *Tierras del olivo* (pág. 415-421). Granada. Fundación El Legado Andalusi.
- Alcalá Zamora P, 1841. "Observaciones sobre el beneficio de la aceituna". En *Semanario Industrial*, Tomo II (pág. 1-10). Madrid.
- Anónimo, 1840. "Aplicación de la prensa hidráulica a la fabricación del aceite". En *Semanario industrial*, Tomo I (pág. 49-53). Madrid.
- Arambarri A, 1987. "La prensa de viga y tornillo". En *Revista de feria*. Dos Hermanas (Sevilla).
- Arambarri A, 1992. *La oleicultura antigua*. Madrid. Editorial Agrícola Española.
- Arambarri A, 1993. "Primer estudio sobre soleras y rulos en el proceso de la molienda de la aceituna". En *Agricultura*, núm. 730 (pág. 386-393). Madrid. Editorial Agrícola Española.
- Arambarri A, 1995. "Molienda de la aceituna en las haciendas de la provincia de Sevilla. Muelas y rulos, diferencias constructivas de sus soleras". En *Actas de las I Jornadas Nacionales de Molinología* (pág. 69-90). A Coruña.
- Aranda Doncel J, 1982. "La oposición a los monopolios e imposiciones señoriales en Montilla durante los siglos XVI y XVII". En *Montilla, aportaciones para su historia*. Ayuntamiento de Montilla (Córdoba).
- Archivo General de Andalucía (Marquesado de Priego y señoríos agregados), Sevilla.
- Archivo Histórico de la Fundación Biblioteca Manuel Ruiz Luque, Montilla (Córdoba).
- Archivo Municipal de Montilla (Córdoba).
- Ávila Rosón JC, Fernández Sánchez JF, 2009. "Ayer y hoy del olivo y de la producción de aceite". En *El aceite de oliva virgen: tesoro de Andalucía* (pág. 7-35). Málaga. Fundación Unicaja.
- Ayuga Téllez F, 2005. coordinador. *Reutilización de edificios rurales abandonados* [CD-ROM]. Madrid. Fundación Alfonso Martín Escudero.
- Balaguer y Primo F, 1877. *Las industrias agrícolas*. Tomo II. Madrid.
- Bernabé Salgueiro A, 2001. "Almazaras y molinos de aceite". En *Proyecto Andalucía. Antropología: arquitectura vernácula* (pág. 305-318). Sevilla. Publicaciones Comunitarias.
- Calvo Poyato J, 1986. *Del siglo XVII al XVIII en los señoríos del Sur de Córdoba*. Diputación Provincial de Córdoba.
- Calvo Poyato J, 1987. *Guía histórica de Montilla*. Diputación Provincial de Córdoba y Ayuntamiento de Montilla.
- Carpio Dueñas A, Carpio Dueñas JB, 1996. "Los molinos de torre y torrecilla". En *Boletín del Instituto de Estudios Giennenses*, núm. 160 (pág. 103-196). Jaén.
- Casey J, 2001. *España en la Edad Moderna. Una historia social*. Madrid. Editorial Biblioteca Nueva y Universidad de Valencia.
- Clementson Lope JA, Barrios Neira J, Montealegre Contreras L, 2009. "Determinación de la Mineralogía, Composición Química y Textura del Material Pétreo Empleado en los Monumentos de Montoro, (Córdoba)". En *Macla* (Revista de la Sociedad Española de Mineralogía), núm. 11 (pág. 59-60).
- Córdoba de la Llave R, 1988. "Aceñas, tahonas y almazaras. Técnicas industriales y procesos productivos del sector agroalimentario en la Córdoba del siglo XV". En *Hispania. Revista Española de Historia*, XLVIII/170 (pág. 827-874). Madrid. CSIC.
- Córdoba de la Llave R, 1990. *La industria medieval de Córdoba*. Caja Provincial de Ahorros de Córdoba.
- Eslava Galán J, 2004. *Un jardín entre olivos*. Barcelona. RBA Libros.
- Estepa Giménez J, 1987. *El marquesado de Priego en la disolución del régimen señorial andaluz*. Diputación Provincial de Córdoba.

- Fuentes García FJ, Romero Atela T, Veroz Herradón R, 1998. "La industria aceitera en el siglo XIX. Referencia a Córdoba y al Molino Alvear". En *Estudios Regionales*, núm. 52 (pág. 15-50). Universidades de Andalucía.
- García Blánquez LA, Muñoz Clares M, Sánchez Pravia JA, 2006. "Una prensa de viga y quintal con torre contrapeso en Librilla. Una almazara de Hacienda de Olivar en Murcia". En *Revista Murciana de Antropología*, núm. 13 (pág. 159-183).
- Garrido González L, Hernández Armenteros S, Zambrana Pineda JF, 2007. "Historia del aceite de oliva y el olivar". En *Tierras del olivo* (pág. 261-271). Granada. Fundación El Legado Andalusi.
- Guerrero Fúster A, et al., 2001. "Bibliografía etnográfica sobre aceite y almazaras". En *Revista Murciana de Antropología*, núm. 7 (pág. 9-44). Universidad de Murcia.
- Hoja 966-IV a escala 1:25.000 del Mapa Topográfico Nacional de España.
- Lampérez y Romea V, 1993[1922]. *Arquitectura civil española de los siglos I al XVIII. Volumen 1: arquitectura privada*. Reproducción facsímil. Madrid. Editorial Giner.
- Larbalétrier A, 2009 [1890-1899]. *Tratado práctico de jabonería y perfumería*. Reproducción facsímil. Valladolid. Editorial Maxtor.
- León Díaz A, 1998. *Evolución del diseño, tipología de la construcción y materiales en las almazaras de la provincia de Córdoba*. Tesis doctoral. Universidad de Córdoba.
- López Gálvez MY, Moreno Vega A, Pérez Merino J, 2010. "Una prensa de viga y quintal con torre de contrapeso en el Molino del Toro". En *La Corredera*, núm. 64, pág. 12-13. Montilla (Córdoba).
- López Gálvez MY, 2010. *El aceite de oliva y sus complejos industriales en la provincia de Córdoba*. Trabajo fin de Máster en proyectos y gestión de plantas agroindustriales, UCO.
- López Gálvez MY, Moreno Vega A, 2011. "El monopolio aceitero del marquesado de Priego en Montilla: siglos XVI-XVIII". En *La Corredera*, núm. 67, pág. 10-11. Montilla.
- López Ontiveros A, 1970. *Evolución de los cultivos en la campiña de Córdoba del siglo XIII al siglo XIX*. Universidad de Murcia.
- Manjarrés y de Bofarull R. de, 2010 [1896]. *El aceite de oliva. Su extracción, clarificación y refinación*. Reproducción facsímil. Jaén. Editorial Formación Alcalá.
- Martínez Mejías F, 2001. "Bujalance, los molinos de aceite y la evolución en las técnicas de molienda de la aceituna". En *Arte, Arqueología e Historia*, núm. 8 (pág. 195-199).
- Martínez de Mazas J, 1978 [1794]. *Retrato al Natural de la ciudad y termino de Jaén: su estado antiguo y moderno, con demostración de cuanto necesita mejorarse su población, agricultura y Comercio*. Reproducción facsímil. Barcelona. Editorial El Albir.
- Mejías García JC, Mercado Hervás LV, 1997. "Los molinos de aceite de la antigua Cilla de Aroche". En *Actas de las XI Jornadas del Patrimonio de la Sierra de Huelva* (pág. 379-390).
- Ministerio de Comercio, Instrucción y Obras Públicas, 1850. *Boletín Oficial* (Tomo IX). Madrid.
- Monlau y Sala J, 1877. *Tratado de olivicultura, o del cultivo del olivo y de la obtención del aceite*. Palma de Mallorca.
- Montes Tubío F, Rojas Sola JI, 2008. "Ingenios para la obtención del aceite y el vino". En *Ars Mechanicae: ingeniería medieval en España* (pág. 195-202). Madrid. CEDEX y Fundación Juanolo Turriano.
- Montes Tubío F, et al. 2010. "D. Diego de Alvear y Ward: un innovador de la agro-industria". En *El Patrimonio Oleícola. Análisis desde la diversidad del conocimiento*. Jaén.
- Moya Vilar M, Vilar Hernández J, et al. 2007. "Evolución histórica de la calidad de los aceites de oliva y su relación con los procesos de obtención". En *I Congreso de la Cultura del Olivo* (pág. 647-662). Jaén. Instituto de Estudios Gienenses.
- Noriega E, 1901. "Memoria acerca de la fabricación de Aceites en la provincia de Sevilla". Reproducido en *Agricultura y Sociedad*, núm. 19 (pág. 291-361). Madrid (1981).

- Olmedo F, 2007. "La arquitectura tradicional del olivar en Andalucía". En *Tierras del olivo* (pág. 395-413). Granada. Fundación El Legado Andalusi.
- Pequeño y Muñoz Repiso D, 2010 [1879]. *Nociones acerca de la elaboración del aceite de olivas*. Reproducción facsímil. Valladolid. Editorial Maxtor.
- Pequeño y Muñoz Repiso D, 1898. *Manual práctico acerca de la elaboración de los aceites de olivas*. Madrid.
- Pino Espejo MJ, 2008. *Los efectos de la evolución tecnológica en la almazara cordobesa. Aspectos tecnoeconómicos y socioculturales* [recurso electrónico]. Tesis doctoral. Helvia, Universidad de Córdoba.
- Quer y Martínez J, Gómez de Ortega C, 1784. *Continuación de la flora española*, Tomo V. Madrid. J. Ibarra.
- Quintanilla M, 1839. *Explicación del alfarje y prensa para elaboración de aceite*. Sevilla.
- Roca Carol J, 1943. *Olivos, aceites y jabones*. Barcelona. Editorial Aries.
- Rodríguez E, 1856. *Manual de física general y aplicada a la agricultura y a la industria*. Madrid.
- Rodríguez López JM, Cara Barrionuevo L, 1997. "Un capítulo casi olvidado en la historia alhameña: las almazaras y el aceite". En *El Eco de Alhama*, núm. 4.
- Rojas Sola JI, 1995. "Análisis tecnológico-funcional de una prensa de viga y quintal". En *Actas de las I Jornadas Nacionales de Molinología* (pág. 141-150). A Coruña.
- Rojas Sola JI, 1997. *Estudio histórico tecnológico de molinos y prensas para la fabricación de aceite de oliva. Aplicación al estudio en detalle y reconstrucción gráfica de una prensa de viga y quintal*. Jaén. Diputación Provincial de Jaén.
- Rojas Sola JI, 1998. "Consideraciones técnicas sobre una prensa de torre utilizada en la antigüedad para la fabricación de aceite de oliva". En *Actas de las II Jornadas Nacionales de Molinología* (pág. 262-269). Terrassa.
- Rojas Sola JI, 2003. Aplicación de las TIC a la recuperación del patrimonio olivarero: El Museo Andaluz del aceite. En *Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, núm. 46 (pág. 89).
- Rojas Sola JI, 2005. Ancient technology and Computer-Aided Design: olive oil production in southern Spain. En *Interdisciplinary Science Reviews* 30(1), p. 59-67.
- Rojas Sola JI, Montalvo Gil JM, 1999. "Recuperación gráfica de una prensa de viga y quintal del museo andaluz del aceite: estudios técnicos y conclusiones". En *Actas del XI Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica*, Vol. 2 (pág. 1048-1055). Logroño-Pamplona. Universidad de La Rioja y Universidad Pública de Navarra.
- Rojas Sola JI, Ramírez Arrazola C, 2011. Engineering Graphics applied to the study of old methods for obtaining olive oil. En *Scientific Research and Essays*, Vol. 6(11), p. 2379-2388.
- Rozier F, 1797. *Curso Completo o Diccionario Universal de Agricultura* (Tomo I). Madrid. Imprenta Real.
- Rojo Payo VC, 1840. *Arte de cultivar el olivo*. Valencia.
- Sánchez González A, 1998. *Linajes y estados de la Casa de Medinaceli. Estructura de su memoria archivística*. Tesis doctoral. Universidad de Sevilla.
- Sánchez Pineda de las Infantas MT, 2003. *Procesos de elaboración de alimentos y bebidas*. Madrid. Ediciones Mundi-Prensa y AMV Ediciones.
- Sánchez Salazar F, 1989. "El olivo y su expansión en el reino de Jaén durante el siglo XVIII". En *Boletín del Instituto de Estudios Giennenses (BIEG)*, núm. 138, pág. 83-98.
- Schneider H, 2009. *La técnica en el mundo antiguo: una introducción*. Madrid. Alianza Editorial.
- Tenenti A, 2003. *La Edad Moderna. Siglos XVI-XVIII*. Barcelona. Editorial Crítica (2ª edición).
- Trías y Travesa J, 1865. *Nociones de Física*. Barcelona.
- VV.AA, 1842. *Enciclopedia española del siglo XIX*, Tomo II. Madrid. BOIX.

VV.AA, 1993. *Catálogo artístico y monumental de la provincia de Córdoba. Tomo VI: Luque, Montalbán, Montemayor y Montilla*. Córdoba. Consejería de Cultura y Medio Ambiente (Junta de Andalucía), Diputación Provincial y Caja Provincial de Ahorros de Córdoba.

VV.AA, 1993. *Los Pueblos de Córdoba. Tomo 3: La Granjuela-Monturque*. Caja Provincial de Ahorros de Córdoba.

VV.AA, 2006. *Cortijos, haciendas y lagares. Arquitectura de las grandes explotaciones agrarias en Andalucía. Provincia de Córdoba* (2 Tomos). Madrid. Junta de Andalucía, Consejería de Obras Públicas y Transportes, Dirección General de Arquitectura y Vivienda.

(Aceptado para publicación el 13 de febrero de 2012)

Microbiota asociada a la enfermedad de la punta negra del trigo duro. Efectos del riego, el abonado nitrogenado y la variedad cultivada en la incidencia de la enfermedad

C. García*, D. Palmero^{*,1}, M. De Cara^{**}, A. Cruz^{***} y M. González Jaén^{***}

* Departamento de Producción Vegetal. EUIT Agrícola. Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria s/n. 28040. Madrid. Spain

** Departamento de Producción Vegetal. Universidad de Almería. Cañada de San Urbano s/n. 04120 Almería. Spain

*** Departamento de Genética. Universidad Complutense de Madrid., José Antonio Nováis 2, 28040-Madrid, Spain

Resumen

La enfermedad fúngica de la punta negra del trigo se caracteriza por provocar en las semillas afectadas un oscurecimiento de la zona del embrión que en ocasiones puede extenderse hacia la hendidura central dejando el grano completamente ennegrecido. Su incidencia en el cultivo de trigo es extremadamente variable y depende en gran medida de las condiciones ambientales, así pues, condiciones de alta humedad pueden incrementar la punta negra. Su presencia en el trigo duro repercute en el rendimiento semolero. Además la pasta elaborada a partir de semilla enferma presenta machas negras y adquiere color y olor desagradable. Esta enfermedad es poco conocida a nivel europeo, sin embargo existen numerosos estudios para conocer su etiología y los factores que afectan a su aparición en países como Nueva Zelanda, Australia, Estados Unidos o Canadá. El presente trabajo pretende dar a conocer esta patología en España, determinando la influencia del riego, el abonado nitrogenado y la variedad cultivada en la incidencia de la enfermedad. Para ello se ha contado con un diseño experimental basado en 10 cultivares sembrados en parcelas con dos tratamientos de riego y dos de abonado nitrogenado. El análisis de las semillas infectadas en cámara húmeda y medios de cultivo PDA y K reveló 12 géneros fúngicos diferentes, de los cuales *Alternaria alternata* y *Fusarium proliferatum* estaban presentes en todas las muestras. El estudio del riego y abonado nitrogenado mostró diferencias significativas en la incidencia de punta negra pero fueron los 10 cultivares incluidos en el ensayo los que mayor importancia cobraron desde el punto de vista de la aparición de la enfermedad. El genotipo resultó determinante a la hora de establecer los niveles de afectación ya que las muestras encuadradas botánicamente como *Triticum turgidum* subsp. *turgidum* convar. *turgidum* presentaron una mayor susceptibilidad. Las pruebas de patogenicidad con los tres principales hongos asociados a la punta negra dieron resultados negativos para la germinación-nascencia de las plántulas de trigo duro inoculadas.

Palabras clave: *Fusarium proliferatum*, *Alternaria alternata*, *Triticum turgidum*.

Summary

Fungal microbiota associated with black point disease on durum wheat. Effects of irrigation, nitrogen fertilization and cultivar

Black point disease on durum wheat is defined as the discoloration of the embryo end. The embryo tip shows a black to brown discoloration that may extend into the crease of the kernel. Its incidence in the

1. Autor para correspondencia: daniel.palmero@upm.es

crop is extremely variable and depends largely on environmental conditions, thus, high humidity can increase black point. Their presence in durum wheat affects yield. Furthermore, pasta made from infected seed get black spots and odor. Black Point disease is not known at European level, but there are numerous studies to know their etiology and factors affecting its appearance in countries like New Zealand, Australia, the United States or Canada. This paper tries to present this disease in Spain, determining the influence of irrigation, nitrogen fertilization and cultivar on the incidence of the disease. An experimental design based on 10 cultivars planted in plots with two irrigation treatments and two nitrogen fertilization treatments has been conducted. Analysis of infected seeds in moist chamber and culture media PDA and K revealed 12 different fungal genera, including *A. alternata* and *F. proliferatum* that were present in all samples. The study of irrigation and nitrogen fertilization showed significant differences in the incidence of black point but it was the 10 cultivars included in the trial which took greater importance from the point of view of the onset of the disease. The genotype was decisive in setting the disease level. Samples botanically described as *Triticum turgidum* subsp. *turgidum* convar. *turgidum* showed greater susceptibility. Pathogenicity tests with the three main fungi associated with black tip were negative for germination and plant emergence of wheat seedlings.

Key words: *Fusarium proliferatum*, *Alternaria alternata*, *Triticum turgidum*.

Introducción

La enfermedad de la punta negra del trigo se caracteriza por la aparición en los granos afectados de un típico oscurecimiento en la zona del embrión que da nombre a la enfermedad. Los síntomas más frecuentes consisten en una decoloración del extremo embrionario, que vira desde el marrón oscuro al negro. En infecciones más drásticas dicha decoloración puede avanzar por la hendidura central hasta la parte distal de la semilla, dejándola completamente ennegrecida. Tanto el trigo duro (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) como el trigo blando o harinero (*Triticum aestivum* L.) se ven afectados por esta patología, aunque también aparece citada en cultivos de cebada (*Hordeum vulgare* L.) (Walker et al. 2008).

Algunos autores atribuyen la enfermedad únicamente a agentes abióticos (Williamson, 1997; Desclaux, 2000), mientras que otros mencionan hongos como *Alternaria alternata* (Fries) Keissler. *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker o *Fusarium proliferatum* (T. Matushima) Nirenberg (Conner and Kuzyk, 1988; Cromey and Muholland, 1988; Fernández et al. 1994; Conner et al. 1996; Özer, 2005). Otros

muchos géneros fúngicos como *Cladosporium*, *Stemphylium*, *Epicoccum*, *Aspergillus*, *Rhizopus* o *Penicillium* han sido aislados de granos sintomáticos.

A. alternata es la especie que con mayor frecuencia ha sido asociada a la enfermedad. Cromey y Muholland (1988) lo aislaron en porcentajes cercanos al 83% frente a valores del 20% de presencia de *Fusarium* spp. Southwell et al. (1980) en un ensayo al sureste de Australia obtuvo un 85% de aislamientos de *A. alternata* y algo menos del 1% de *B. sorokiniana* a partir de granos de trigo duro afectados por punta negra. Otro estudio llevado a cabo en Saskatchewan (Canadá) por Fernández et al. (1994) reveló porcentajes de *Alternaria* sp. próximos al 74% y presencia de *B. sorokiniana* entre el 8 y el 13%. Aunque Cromey and Muholland (1988) y Conner and Kuzyk (1988) ya citaban especies de *Fusarium* como posibles causantes de la punta negra, Conner et al. (1996) fue el primero en identificar la especie *F. proliferatum* y sugerir que este hongo es patógeno en trigo, reproduciendo los síntomas en plantas sanas, pues las semillas recogidas de las plantas inoculadas presentaban el característico oscurecimiento

en la zona del embrión. Según diferentes estudios, semillas sintomáticas con elevada presencia de *A. alternata* no ven afectada su germinación (Rees *et al.* 1984; Cromey and Muholland, 1988; Özer, 2005), sin embargo, altos porcentajes de *B. sorokiniana* pueden reducir el poder germinativo (Watkins, 2005).

Puesto que los síntomas no se hacen patentes hasta los últimos estadios de desarrollo del grano, se ha atribuido un papel fundamental, en la epidemiología de la enfermedad, a la época y disposición del riego. Así pues, condiciones de alta humedad durante grano lechoso y grano pastoso (estados de crecimiento 11.1 y 11.2 según la escala de Feekes) incrementan en gran medida la punta negra (Conner, 1987; 1989). Las bajas temperaturas y las heladas durante este estado de crecimiento también pueden contribuir a aumentar la infección por parte de los hongos (Fernández *et al.* 1994; 2000).

Existen pocos artículos que hayan estudiado la influencia de los fertilizantes nitrogenados en la incidencia de la enfermedad. Conner *et al.* (1992) demostraron en trigo blando, que, bajo condiciones favorables para el desarrollo de los patógenos, altas cantidades de nitrógeno incrementaban la punta negra, sin importar si éste se encuentra residual en el suelo o es incorporado, bien en presiembra o con el agua de riego. Esta circunstancia puede deberse a que el aporte de abonos nitrogenados contribuye a aumentar el tamaño del grano lo cual podría facilitar la entrada de los patógenos y por consiguiente el incremento de punta negra (Cromey and Muholland, 1988). Además las plantas que disponen de mucho nitrógeno en el suelo desarrollan mayor masa vegetal formando un microclima húmedo en las espigas que permite un mejor desarrollo de los hongos (Conner, 1987).

Se han citado diferencias entre los porcentajes de afección de la enfermedad en trigo blando (*T. aestivum*) y en trigo duro (*T. turgi-*

dum var. *durum*), mostrando los primeros menores niveles de semilla oscurecida que los segundos (Southwell *et al.* 1980b; Conner and Thomas, 1985; Wang *et al.* 2002). Sin embargo, Fernández *et al.* (2000) estudiaron la incidencia de la enfermedad en seis cultivares de trigo duro y otros seis de trigo blando, ambos en regadío, sin poder establecer diferencias significativas entre ellos.

Varios autores confirman la existencia de cultivares de trigo tolerantes a la punta negra y coinciden en señalar la importancia que tiene para el control de la enfermedad la correcta elección de la variedad. Conner and Thomas (1985) demostraron que mediante la sustitución de cultivares sensibles de trigo blando por otros tolerantes podía reducirse la incidencia de punta negra en tres cuartas partes. Gooding *et al.* (1993) encontraron un 19% más de semilla oscurecida en trigos susceptibles y concluyeron que el uso de cultivares susceptibles podía ser incluso más influyente que las condiciones climáticas del año o el manejo del cultivo.

Altos niveles de punta negra repercuten en la elaboración de la harina y el salvado, ambos muestran pigmentos oscuros y desprenden olor desagradable (Dexter and Edwards, 1997). El pan procedente de semillas con presencia de la enfermedad tiene color grisáceo y mala calidad (Rees *et al.* 1984). En trigo duro puede verse ligeramente reducido el rendimiento semolero, además las cualidades estéticas y culinarias de la pasta se ven afectadas por manchas negras y pérdida de peso y textura (Dexter and Edwards, 1998; Rees *et al.* 1984). Parámetros de calidad química como el índice de sedimentación (SDS) también puede verse influido (Gordún *et al.* 2008). Por este motivo Canadá, en su Comisión Nacional del Grano, incluye tablas con susceptibilidad a la enfermedad en los lotes cosechados. De esta forma niveles superiores al 10% de semillas con punta negra suponen la devaluación del lote de la categoría 1 a la 2

en trigo blando. En trigo duro, este porcentaje queda reducido al 5%. Para valores superiores al 35% en ambos casos la producción se desvía al consumo animal. En los Estados Unidos se permite solo el 2% de la semilla con presencia de punta negra para poder ser considerada de primera categoría, un 4% de semillas afectadas suponen una depreciación hasta la cuarta categoría (Watkins, 2005). En Australia el límite que fija la primera categoría está en el 5% para el trigo harinero y en el 3% para el trigo duro (Australian Wheat Board, 2000). En Europa, por el contrario, no hay hasta la fecha, legislación al respecto por lo que el presente trabajo trata de aportar conocimientos sobre los hongos que se asocian a la enfermedad en nuestras condiciones, al mismo tiempo que se evalúa el efecto que el riego, el abonado o el propio genotipo de la variedad cultivada pueda tener sobre la aparición de la enfermedad.

Materiales y métodos

Diseño experimental

El ensayo de campo se realizó en la campaña 2006-2007, en la finca experimental "Casa Concha" de Aranjuez (Madrid) perteneciente al INIA UTM (40° 03' N, 3° 31' O). La parcela tiene 828 m² de superficie y se utilizó un diseño de parcelas subdivididas con tres repeticiones. Para determinar el efecto del abonado, el riego y la variedad sobre la aparición de la enfermedad se utilizó un diseño experimental factorial 10x2x2x3, donde las variedades 1 a 10 era el primer factor, el abonado el segundo factor, el riego el tercer factor, cada combinación de cultivar, riego y abonado se repitió tres veces en microparcels de 6 surcos espaciados 28 cm (2,5 x 1,4 m) con una densidad de siembra de 150 kg ha⁻¹. La siembra tuvo lugar en la segunda quincena de noviembre de 2006 y la cosecha se realizó

en el mes de julio de 2007 de forma manual para evitar mezclas entre variedades.

Tres de los cultivares, Bolo, Regallo y Sula, son de buena calidad, Don Pedro es de calidad media y Antón es de mala calidad semolera. Las cinco variedades indígenas o tradicionales provienen del Centro de Recursos Fitogenéticos del INIA y han sido seleccionadas por su homogeneidad de ciclo con los cultivares anteriormente citados (Bartolomé, 2010) (Tabla 1).

Se realizaron tres riegos durante todo el ciclo distribuidos según el normal desarrollo del cultivo de cereal en la zona: el primero de ellos se aportó en el estado fenológico 4 (ahijamiento) en la escala de Feekes, incorporando 128 kg ha⁻¹ urea (1,8 U de urea al 46%) al agua de riego; el segundo y tercer riego se realizaron antes de la fase de espigado. En los bloques con nitrógeno se incorporaron 64,3 kg ha⁻¹ de un abono complejo de fondo (NPK 15-15-15). En los bloques sin nitrógeno solo se aportó 64,3 kg ha⁻¹ de superfosfato (0,9 U) y 64,3 kg ha⁻¹ de KCl (60%) como abonado de fondo.

A partir del grano recolectado manualmente en 2007, se prepararon 120 muestras divididas en dos lecturas de 100 semillas cada una. El ensayo quedó constituido por un total 24.000 semillas a evaluar. Para estudiar el efecto del riego, el nitrógeno y la variedad en cada uno de estos lotes, se diferenciaron y contabilizaron mediante observación directa el número de las semillas con síntomas de punta negra. Dichas semillas fueron pesadas para obtener también el porcentaje en peso y su incidencia sobre la enfermedad.

Influencia sobre el poder germinativo

La determinación del poder germinativo se realizó siguiendo el procedimiento específico propuesto por la ISTA (1976) para ensayos de germinación en trigo. Se depositaron 100 semillas con punta negra de cada variedad sobre un papel de filtro empapado en

Tabla 1. Material vegetal utilizado en los ensayos
 Table 1. Tested plant material

Variedades comerciales				Variedades tradicionales			
Código	Variedad	Clasificación botánica	Conservadores	Código	Nº de entrada CRF	Clasificación botánica	Lugar de origen
1	Antón	<i>Triticum turgidum</i> subsp. <i>turgidum</i> convar. <i>durum</i>	Agrar. Semillas, S.A.	7	BGE013701	<i>Triticum turgidum</i> subsp. <i>turgidum</i> convar. <i>durum</i>	Alicante
2	Bolo	<i>Triticum turgidum</i> subsp. <i>turgidum</i> convar. <i>durum</i>	Irta (G. Cataluña) Semillas Fito, S.A.	9	BGE018620	<i>Triticum turgidum</i> subsp. <i>turgidum</i> convar. <i>durum</i>	Islas Baleares
3	Don Pedro	<i>Triticum turgidum</i> subsp. <i>turgidum</i> convar. <i>durum</i>	Varios conservadores	10	BGE021786	<i>Triticum turgidum</i> subsp. <i>turgidum</i> convar. <i>durum</i>	Badajoz
4	Regallo	<i>Triticum turgidum</i> subsp. <i>turgidum</i> convar. <i>durum</i>	Diputación General Aragón Agromonegros, S.A.	11	BGE018660	<i>Triticum turgidum</i> subsp. <i>turgidum</i> convar. <i>durum</i>	Barcelona
5	Sula	<i>Triticum turgidum</i> subsp. <i>turgidum</i> convar. <i>durum</i>	Varios conservadores	12	BGE018262	<i>Triticum turgidum</i> subsp. <i>turgidum</i> convar. <i>durum</i>	Cádiz

agua destilada y se cubrieron con otro papel humedecido. El conjunto se enrolló sobre sí mismo y se metió en bolsas de plástico. Los rollos se mantuvieron en cámara a 20°C y se realizaron dos lecturas a los 4 y 8 días. A la vez, este mismo proceso se repetía con 100 semillas asintomáticas de cada variedad a modo de testigo.

Identificación de los micetos

Se analizaron 200 semillas sintomáticas por cultivar sin desinfección previa sobre placas con medio agar patata dextrosa (PDA), en cámara húmeda y sobre un medio específico para el género *Fusarium* (Komada, 1975; medio K). Las placas de Petri se incubaron a 25°C en condiciones de 14 h de luz, 18.8 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ y 10 h de oscuridad entre 6 y 8 días, realizándose lecturas periódicas al microscopio óptico y anotando el número de especies presentes en cada semilla. Para la determinación de las

especies fúngicas asociadas a los granos de trigo con punta negra se utilizaron las obras de Barnett and Hunter (1972) y Mathur and Kongsdal (2003). Para la asignación de especies del género *Fusarium* se siguieron los criterios taxonómicos de Nelson et al. (1983) y Leslie and Summerell (2006).

Identificación molecular de *Fusarium*

Además de la identificación morfológica, en el caso de los aislados de *Fusarium sp.* se llevó también a cabo la identificación molecular. Para ello, se sembraron cinco aislados codificados como 301-a, 301b, 301c, 9R2 y 5R3, provenientes de diferentes muestras de *Fusarium* en medio PDA y se incubaron de 3 a 5 días a 25°C en condiciones de oscuridad hasta obtener suficiente masa miceliar de cada uno de ellos. A continuación se llevó a cabo la extracción de ADN de cada aislado, recogiendo cuatro discos de micelio con un

crecimiento de 5 a 7 días y depositándolos en tubos Eppendorf de 2 ml. El ADN se extrajo a continuación con el kit DNeasy Plant Mini Kit (Qiagen, Hilden, Alemania) según las instrucciones del fabricante.

La amplificación parcial por PCR del gen EF-1 α del factor de elongación cuyo tamaño es de alrededor de 700 pb, fue realizada en las cinco cepas de *Fusarium* analizadas. Se utilizaron los cebadores EF1T y EF2T (O'Donnell et al., 1998). La reacción de amplificación se realizó en un volumen de 25 μ l con 50 ng de ADN muestra en 1,5 μ l, 0,25 μ l de cada cebador (20 μ M), 0,25 μ l de AmpliTaq Gold polimerasa (5U/ μ l), 2,35 μ l de tampón de PCR 10x, 1,6 μ l de MgCl₂ (50 mM), y 1,85 μ l de dNTPs (100 mM) (Applied Biosystems, EEUU). La PCR se realizó en un termociclador (Eppendorf Mastercycler Gradient, Eppendorf, Hamburg, Germany). Los productos amplificados se detectaron mediante electroforesis en gel de agarosa al 2% con bromuro de etidio utilizando un tampón 1x de 40mM Tris-acetato y EDTA 1,0 mM.

Los productos de la amplificación parcial del gen EF-1 α se aislaron con el kit UltraClean™ PCR Clean-Up™ (MoBio Laboratories Inc., EEUU). Se llevó a cabo la secuenciación de estos fragmentos amplificados utilizando el secuenciador ABI 3730 (Applied Biosystems, EEUU) según las instrucciones del fabricante en la Unidad de Genómica de la Universidad Complutense of Madrid (Madrid, España). Las secuencias obtenidas se editaron y alinearon por el método ClustalW mediante los programas Dnastar (Lasergene, Wisconsin, EEUU) y BioEdit Sequence Alignment Edition (Ibis Therapeutics, Carlsbad, California). Las secuencias se compararon con la base de datos del GenBank (NCBI).

Pruebas de patogenicidad sobre la nascencia de plántulas

Debido a su posible vinculación con la muerte de plántulas en campo, se seleccionaron

tres aislados de *A. alternata* y tres de *F. proliferatum* de entre los obtenidos de los análisis microbiológicos de semillas sintomáticas. Se incubaron en medio PDA hasta que el micelio del hongo alcanzara el borde de la placa de Petri (9 cm de diámetro). A continuación, se elaboraron los inóculos homogeneizando el contenido de una placa Petri en 500 ml de agua destilada. La preparación del testigo se realizó igualmente mezclando en la misma cantidad de agua destilada una placa de PDA sin hongo.

La aplicación se llevó a cabo repartiendo los 500 ml de inóculo en 100 semillas pregerminadas (10 macetas con 10 semillas por maceta) y colocadas, previamente, en macetas de plástico sobre sustrato vermiculita. Para ello se dispuso de semilla previamente desinfectada en lejía durante 15 minutos y posterior aclarado con agua limpia y puesta a germinar en toallas húmedas dos días antes. Se utilizó el cultivar de trigo duro 03E2606 procedente de la colección de referencia del INIA, garantizando así la ausencia de sintomatología de punta negra.

El ensayo se mantuvo en condiciones de laboratorio a temperatura ambiente entre 23 y 25°C y luz natural. El proceso contó con dos repeticiones en el tiempo, en cada una de las cuales se analizaron 100 plántulas por aislado y testigo, lo que supone un total de 700 plántulas estudiadas por repetición.

El conteo y observación de los daños producidos sobre las plántulas emergidas se efectuaron tras un periodo de crecimiento de 14 – 16 días, momento en el que las plántulas mostraban sus dos primeras hojas. Su evaluación se realizó conforme a las indicaciones del "Manual para la Evaluación de Plántulas en Análisis de Germinación" editado por el Instituto Nacional de Semillas y Plantas de Vivero (MAPA, 1992).

Análisis estadístico

Los resultados del conteo de semillas con punta negra y las pruebas de patogenicidad de los aislados, se sometieron a un análisis de varianza unifactorial utilizando el software estadístico StatsGraphics Centurion XV.II (Statistical 195 Graphics Corp., Herndon, VA). La comparación de las medias se realizó utilizando la diferencia significativa mínima, LSD, para el nivel de significación elegido ($p = 0,05$). Antes del análisis de varianza se realiza la transformación del $\arcsen \sqrt{x}$, de los porcentajes. Las comparaciones posteriores entre las medias deben hacerse en la escala transformada. En las tablas se observan los resultados sin transformar, para mayor comodidad, aunque las diferencias mínimas significativas se refieren a las transformadas.

Resultados

Identificación de los hongos

El análisis fúngico de los distintos micromicetos fue llevado a cabo sobre muestras de semillas de trigo duro con síntomas de punta negra, obteniéndose un total de 12 géneros fúngicos diferentes (Tablas 2 y 3): *Alternaria*, *Aspergillus*, *Aureobasidium*, *Bipolaris*, *Cladosporium*, *Drechlera*, *Fusarium*, *Gonatobotrium*, *Pleuropragmium*, *Penicillium*, *Rhizopus* y *Ulocladium*.

Las siembras sobre medio PDA muestran presencia de *A. alternata* con porcentajes de aparición en el 98% de las semillas de las variedades comerciales analizadas. Estos resultados coinciden con los expuestos por Crome y Muholland (1988) y Southwell *et al.* (1980a) en cuyos trabajos *A. alternata* estaba presente en el 83% y el 85% de las semillas respectivamente. Otros muchos géneros fúngicos de común aparición en las semillas de cereales como *Aspergillus*, *Ulocladium*, *Rhizopus*, *Cladosporium* o *Fusarium* fueron aislados de granos con punta negra, aunque sus porcentajes de aparición fueron siempre inferiores al 4% de las semillas analizadas.

Cabe destacar el cultivar Don Pedro, cuyas semillas presentan la mayor carga fúngica al aparecer otros cuatro géneros además de *Alternaria*, si bien ninguno de ellos supera el 3% del porcentaje total de semillas afectadas. Es importante reseñar el 2,5% de semillas afectadas por *Fusarium* por su posible vinculación como uno de los posibles hongos causantes de la enfermedad.

En las variedades tradicionales el hongo aislado con mayor frecuencia fue nuevamente *A. alternata* con porcentajes en torno al 98%. La presencia en estas semillas de cuatro géneros fúngicos nuevos y la mayor frecuencia de aparición de éstos, indica un estado sanitario inferior, debido a que se trata de cultivares antiguos donde la mejora genética no es tan patente o por el mero hecho de su conservación. Los hongos más repetidos en las diferentes muestras son *Cladosporium*, *Gonatobotrium*, *Rhizopus* y *Fusarium*, que rondan porcentajes de aparición próximos al 2%. *Ulocladium botrytis* está presente en cuatro de las cinco variedades estudiadas con porcentajes entre el 2% o el 3%.

En la tabla 3 se resumen los hongos aislados en las semillas de cultivares mantenidos sin riesgo supletorio en campo.

Los resultados obtenidos en los análisis de las semillas realizados en cámara húmeda no difieren de los obtenidos en medio de cultivo PDA. Podría por tanto haberse usado uno u otro método analítico para la evaluación de la microbiota fúngica.

La realización de ensayos en medio Komada (K), se justifica por elevada presencia de hongos con alta tasa de crecimiento como *A. alternata*, que en los análisis realizados en medios no selectivos invadía rápidamente la placa

imposibilitando la correcta determinación taxonómica de los *Fusaria*. Todas las semillas de todas las muestras analizadas revelaron presencia *Fusarium* (100% de semillas afectadas en todos los lotes) lo que implica que el enmascaramiento del patógeno estaba sucediendo y podría explicar en parte la ausencia de especies de *Fusarium* en muchos de los estudios sobre la punta negra del trigo en los cuales sólo se habían utilizado medios generales para el aislamiento del agente patógeno.

Las colonias de *Fusarium* presentaban cadenas de microconidios unicelulares nacidos en mono o polifiálidas, con macroconidios con tres a cinco septos y una curvatura marcada. Los aislados fueron identificados como *Fusarium proliferatum* (T. Matsushima) Nirenberg (Nirenberg and O'donnell 1998). Conner *et al.* (1996) también asociaron dicha especie con la enfermedad de la punta negra, aislando en

primer lugar el hongo de granos infectados para después reproducir los síntomas en semillas sanas. Otros autores (Cromey and Muhlolland, 1988 y Conner and Kuzyk, 1988a) ya citaban anteriormente el género *Fusarium* como posible causante de la enfermedad, pero no llegaron a identificar la especie.

Identificación molecular de *Fusarium proliferatum*

Tras la amplificación del gen del factor de elongación EF-1 α y la posterior comparación con la base de datos del GenBank, la tabla 4 muestra los resultados obtenidos. Los cinco aislamientos corresponden a la especie *F. proliferatum*. Además en la tabla se indican los número de acceso (Accession Numbers) asignados para la base de datos GenBank (NCBI) (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/>).

Tabla 4. Aislamientos de *Fusarium* sp. identificados mediante métodos moleculares. En la tabla se presentan especie y número de acceso de la base de datos GenBank de cada aislamiento
Table 4. Isolation of *Fusarium* sp. identified by molecular methods. The table presents species and accession number from the GenBank database of each isolate

Aislamiento	Especie	Número de acceso
301-a	<i>F. proliferatum</i>	JF747027
301-b	<i>F. proliferatum</i>	JF747028
301-c	<i>F. proliferatum</i>	JF747028
9R2	<i>F. proliferatum</i>	JF747029
5R3	<i>F. proliferatum</i>	JF747030

Influencia sobre el poder germinativo

El porcentaje de germinación de las semillas sintomáticas que presentaban decoloración en el embrión respecto a las semillas sanas fue siempre similar, sin mostrarse diferencias significativas en ninguna de las variedades ensayadas. Los resultados experimenta-

les muestran unos porcentajes de germinación medios de cultivares comerciales del 79 ± 4.14 , inferiores a los del testigo (82.4 ± 2.33) pero sin que las diferencias sean estadísticamente significativas en el análisis de la varianza. Lo mismo ocurre con las variedades tradicionales donde los porcentajes medios de germinación de semillas sintomáticas se sitúan en

el 83±6.63% frente al 85.4±5.88% de semillas germinadas del testigo.

Influencia del riego, el abonado nitrogenado y el cultivar

La importancia del riego (Tabla 5) queda demostrada con valores de aparición de punta negra cercanos al 8% cuando las parcelas son regadas frente al 5,7% de las parcelas que se mantienen en seco, resultados que coinciden con los obtenidos por varios autores: Conner (1987), Conner *et al.* (1992) y Fernández *et al.* (2000). Los porcentajes de semillas afectadas crecen hasta niveles del 10,2% y 6,8% cuando observamos los valores expresados en peso. Este hecho indica que los

granos más pesados son más susceptibles a la punta negra y concuerdan con lo dicho por Ellis *et al.* (1996) y Wang *et al.* (2002) que asocian el elevado peso del grano con niveles superiores de punta negra.

Conner *et al.* (1992) demostraron que bajo condiciones favorables para el desarrollo de los patógenos, altas cantidades de nitrógeno incrementan la presencia de semillas con punta negra. Estos resultados no coinciden con dichos resultados, ya que los porcentajes más altos (7,8%) corresponden con las parcelas sin aplicación de nitrógeno. No obstante la comparación de estos datos muestra que la influencia del abonado nitrogenado parece ser menos definitiva que las condiciones de riego de la parcela de ensayo (Tabla 5).

Tabla 5. Porcentajes medios de semillas de trigo duro con sintomatología de punta negra según tratamiento de abonado y el riego de la parcela elemental
Table 5. Average percentages of durum wheat seeds with Black Point symptoms according to fertilizer and irrigation treatment of the experimental plot

Tratamiento de la parcela	Semillas con punta negra (% en número)	Semillas con punta negra (% en peso)
Sin riego	5,73 ± 4,11 a*	6,83 ± 5,14 a*
Con riego	7,96 ± 6,29 b	10,2 ± 9,42 b
Sin nitrógeno	7,82 ± 5,98 b	9,93 ± 9,02 b
Con nitrógeno	5,87 ± 4,61 a	7,06 ± 5,95 a

Letras diferentes indican diferencias significativas para una probabilidad de error $p \leq 0,05$.

Los resultados concernientes a la influencia del cultivar se presenta en la Figura 1 y ofrecen diferencias entre los cinco cultivares comerciales y los cinco tradicionales. Los primeros marcan porcentajes de punta negra no superiores el 4,7% de semillas (contenidos de semillas sintomáticas inferiores al 6% de la muestra en peso), menos Don Pedro que alcanza niveles del 8,25% (9.53% en peso). En las variedades tradicionales, salvo BGE013701, estos

valores superan el 6% de semillas con presencia de síntomas. A excepción de los dos cultivares mencionados, puede sugerirse que las variedades más antiguas son más susceptibles a expresar el “black point” (punta negra).

Un posible motivo de esta susceptibilidad varietal puede ser la altura de la planta, genotipos antiguos de elevada longitud del tallo resultan ser más sensibles a la enfermedad

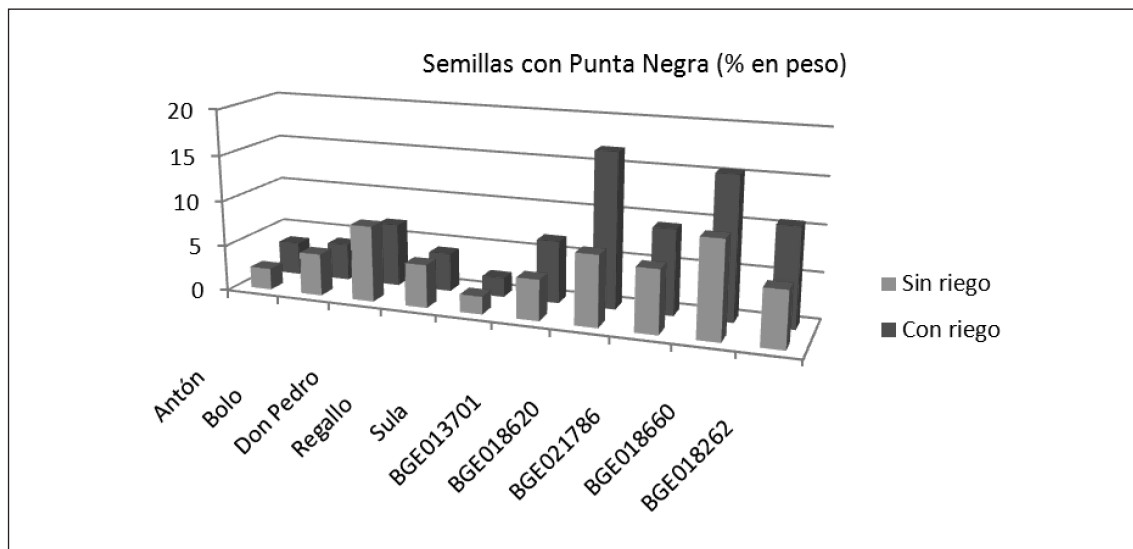


Figura 1. Número y peso de semillas de trigo duro (% respecto al total) con síntomas de punta negra según la variedad de cultivo.

Figure 1. Number and weight of durum wheat seed (% in total) with symptoms of Black Point according to the cultivar.

que trigos mejorados de estatura semi-ana. Estos resultados se contradicen con los expuestos por Fernández *et al.* (1994). Las semillas de Sula (2%) y Antón (2,96%) han resultado ser las menos afectadas, frente a BGE018620 y BGE018660 que, con 12,25% y 12,96% de semillas sintomáticas, reflejan el mayor porcentaje de afectación.

Pruebas de patogenicidad

Las inoculaciones con aislados de los dos hongos de mayor presencia cuantitativa del inventario fúngico no muestran diferencias significativas respecto al testigo para ninguno de los tratamientos estudiados. Las raíces principales no presentaron síntoma alguno tras las inoculaciones y en algunos casos se consiguieron longitudes de raíz y de parte aérea incluso mayores al testigo. El porcentaje de emergencia de las semillas inoculadas con *F. proliferatum* aunque ligeramente in-

ferior al testigo no representa diferencias significativas (tabla 6).

A la vista de los resultados puede afirmarse que ninguno de las dos especies inoculadas ha tenido influencia sobre la nascencia de plántulas de trigo duro.

Discusión

A la vista de los resultados obtenidos, se puede afirmar que no hay diferencia en la microbiota fúngica encontrada entre los distintos cultivares y que, en nuestras condiciones, los hongos que se aíslan con mayor frecuencia asociados a la enfermedad de la punta negra son *A. alternata* y *F. proliferatum*, hongos de común aparición en la microbiota aérea (Palmero *et al.*, 2010) y que previamente habían sido asociados a la enfermedad de la punta negra del trigo en anteriores trabajos

Tabla 6. Porcentaje de semillas germinadas, longitud de la raíz principal y longitud de la parte aérea de las plántulas inoculadas con aislados de *Alternaria alternata* y *Fusarium proliferatum*
 Table 6. Percentage of germinated seeds, length of main root and shoot length of seedlings inoculated with isolates of *Alternaria alternata* and *Fusarium proliferatum*

Aislados	Porcentaje de germinación	Longitud raíz principal (cm)	Longitud parte aérea (cm)
Testigo	85,0 ± 5,92 a	19,35 ± 1,06 a	16,16 ± 0,87 a
Alt 1	79,0 ± 9,43 a	20,59 ± 1,20 a	16,32 ± 0,93 a
Alt 2	87,5 ± 6,42 a	20,41 ± 0,86 a	16,10 ± 0,90 a
Alt 3	84,0 ± 7,68 a	21,66 ± 0,71 a	16,84 ± 0,78 a
Fus 1	74,0 ± 17,15 a	18,53 ± 1,50 a	16,14 ± 0,81 a
Fus 2	73,0 ± 8,72 a	19,73 ± 1,01 a	16,43 ± 0,79 a
Fus 3	69,0 ± 11,58 a	19,59 ± 1,20 a	16,86 ± 1,00 a

Letras diferentes indican diferencias significativas para una probabilidad de error $p \leq 0,05$.

(Southwell *et al.* 1980; Conner y Kuzyk, 1988; Crome y Muholland, 1988; Fernández *et al.* 1994; Conner *et al.* 1996 and Özer, 2005).

Los análisis de la germinación de las semillas afectadas por la enfermedad de la punta negra sugieren poca influencia de la misma sobre la viabilidad de las semillas y coinciden con las observaciones hechas por otros autores (Rees *et al.* 1984; Crome y Muholland, 1988; Özer, 2005). Rees *et al.* (1984) matizaron que lotes con altos porcentajes de aislamientos de *B. sorokiniana* podían reducir el poder germinativo y el vigor de las plántulas. Para Conner *et al.* (1996) *F. proliferatum* tiene un efecto similar a *B. sorokiniana* y puede afectar negativamente a la germinación de la semilla, conclusión que no se ajusta a nuestros resultados experimentales.

Puesto que los síntomas no se hacen patentes hasta los últimos estadios de desarrollo del grano, constituye un papel fundamental en la epidemiología de la enfermedad la época y disposición del riego. Su importancia queda demostrada en el estudio presentado,

donde la aparición de la enfermedad es siempre superior en las parcelas regadas que en las que se mantienen en secano. Estos resultados coinciden con los de Conner, (1987), Conner *et al.* (1992) y Fernández *et al.* (2000), quienes afirman que condiciones de alta humedad, ya sea por el riego o debido a fuertes lluvias, durante los estados de grano lechoso y grano pastoso incrementan en gran medida la aparición de la punta negra. Hemos de tener en cuenta además que cuando los niveles de punta negra son tan altos como para que la cosecha tenga que ser destinada a la alimentación animal, los propios hongos o las micotoxinas que éstos producen pueden causar problemas de salud al ganado si son consumidos en cantidades suficientes (Crome y Muholland, 1988).

Los cultivares BGE018620 y BGE018660 están encuadrados botánicamente como *Triticum turgidum* subsp. *turgidum* convar. *turgidum* y, a diferencia de los ocho restantes, que pertenecen a la convar. *durum* presentan porcentajes medios de semillas afectadas por la enfermedad (12,6%) muy superiores a las del

resto de cultivares (5,4%). Los cultivares no sometidos a mejora genética parecen presentar una mayor incidencia de la enfermedad.

Bibliografía

- Australian Wheat Board, 2000. Wheat receival standards 2000/01. Australian Wheat Board Limited, Victoria, Australia.
- Barnett HL and Hunter BB, 1972. Illustrated genera of imperfect fungi. Burgess publishing company. Minneapolis, Minnesota, USA. 241 p.
- Bartolomé A, 2010. Estudio del efecto de las condiciones ambientales (agua y nitrógeno) y del genotipo sobre la calidad tecnológica de los trigos duros. Proyecto fin de carrera EUITA. UPM. 133 p.
- Conner RL, 1987. Influence of irrigation timing on black point incidence in soft white spring wheat. Can. J. Plant Pathol. 9: 301-306.
- Conner RL, 1989. Influence of irrigation and precipitation on incidence of black point in soft white spring wheat. Can. J. Plant Pathol. 11: 388-392.
- Conner RL and Kuzyk AD, 1988. Black point incidence in soft white spring wheat in southern Alberta and Saskatchewan between 1982 and 1987. Can. Plant Dis. Surv. 68: 27-31.
- Conner RL and Thomas JB, 1985. Genetic variation and screening techniques for resistance to black point in soft white spring wheat. Can. J. Plant Pathol. 7: 402-407.
- Conner RL, Carefoot JM, Bole JB and Kozub GC, 1992. The effect of nitrogen fertilizer and irrigation on black point incidence in soft white spring wheat. Plant Soil, 140: 41-47.
- Conner RL, Hwang SF and Stevens RR, 1996. *Fusarium proliferatum*: a new causal agent of black point in wheat. Can. J. Plant Pathol. 18: 419-423.
- Cromey MG and Mulholland RI, 1988. Black point of wheat: fungal associations, cultivar susceptibility, and effects on grain weight and germination. N. Z. J. Agric. Res. 31: 51-55.
- Desclaux D, 2000. Environmental conditions inducing black-point symptoms in durum wheat. Seminar on Durum Wheat Improvement in the Mediterranean Region: New Challenges, 12-14 Apr 2000, Zaragoza, Spain.
- Dexter JE and Edwards NM, 1997. The Implications of Frequently Encountered Grading Factors on the Processing Quality of Common Wheat. The 101st Association of Operative Millers Trade Show, 1997, Nashville, Tenn. Grain Research Laboratory, Canadian Grain Commission, Winnipeg, Man. Contrib. M212.
- Dexter JE and Edwards NM, 1998. The Implications of Frequently Encountered Grading Factors on the Processing Quality of Durum Wheat. The 102nd Association of Operative Millers Trade Show, 1998, Phoenix, Ariz. Grain Research Laboratory, Canadian Grain Commission, Winnipeg, Man. Contrib. M231.
- Ellis SA, Gooding MJ and Thompson AJ, 1996. Factors influencing the relative susceptibility of wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) to black point. Crop Prot. 15: 69-76.
- Fernandez MR, Clarke JM, DePauw RM, Irvine RB and Knox RE, 1994. Black point and red smudge in irrigated durum wheat in southern Saskatchewan in 1990-1992. Can. J. Plant Pathol. 16: 221-227.
- Fernandez MR, Clarke JM and DePauw RM, 2000. Black point reaction of durum and common wheat cultivars grown under irrigation in southern Saskatchewan. Plant Dis. 84: 892-894.
- Gooding MJ, Thompson AJ, Collingborn FMB, Smith SP and Davies WP, 1993. Black point on wheat grain: Influences of cultivar, management and season on symptom severity. Aspects Appl. Biol. 36: 391-396.
- Gordún E, Salis L, Ojeda S, Robles Y, Goula M, Giunta F and Valero J, 2008. Wheat Sunn pest, blackpoint, kernel smudge and quality factors in Spanish durum wheat. International Durum Wheat Symposium, 30 June – 3 July 2008, Bologna, Italy.
- ISTA (International Seeds Testing Association), 1976. International rules for seed testing. Seed Sci. Technol. 43, 3-77.

- Komada H, 1975. Development of a selective medium for quantitative isolation of *Fusarium oxysporum* from natural soil. Rev. Plant. Prot. Res. 8: 14-125.
- MAPA, 1992. Manual para Evaluación de Plántulas en Análisis de Germinación. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Secretaría General Técnica. Madrid. 130 p.
- Leslie JF and Summerell BA, 2006. The *Fusarium* Laboratory Manual. Blackwell Publishing. Ames, Iowa, USA.
- Mathur SB and Kongsdal O, 2003. Common laboratory seed health testing methods for detecting fungi. International Seed Testing Association. ISTA. Copenhagen, Denmark. 425 p.
- Nelson PE, Toussoun TA and Marasas WFO, 1983. *Fusarium* species. A manual for identification. Ed. The Pennsylvania State University Press.
- Nirenberg HI and O'donnell K, 1998. New *Fusarium* species and combinations within the *Gibberella fujikuroi* species complex. Mycologia. 90(3): 434-458.
- Özer N, 2005. Determination of the fungi responsible for black point in bread wheat and effects of disease on emergence and seedling vigour. Trakya Univ. J. Sci. 6: 35-40.
- Palmero D, Rofriguez JM, De Cara M, Camacho F, Iglesias C and Tello Marquina JC, 2010. Fungal microbiota from rain water and pathogenicity of *Fusarium* species isolated from atmospheric dust and rainfall dust. J Ind Microbiol Biotechnol (2011) 38: 13-20.
- Rees RG, Martin DJ and Law DP, 1984. Black point in bread wheat: effects on quality and germination, and fungal associations. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 24: 601-605.
- Southwell RJ, Brown JF and Wong PTW, 1980a. Effect of inoculum density, stage of plant growth and dew period on the incidence of black point caused by *Alternaria alternata* in durum wheat. Ann. Appl. Biol. 96: 29-35.
- Southwell RJ, Wong PTW and Brown JF, 1980b. Resistance of durum wheat cvs. To black point caused by *Alternaria alternata*. Aust. J. Agric. Res. 31: 1097-1101.
- Walker RK, Able JA, Mather DE, Able AJ, 2008. Black point formation in barley: environmental influences and quantitative trait loci. Aust. J. of Agric. Res. 59(11) 1021-1029
- Wang H, Fernandez MR, Clarke FR, DePauw RM and Clarke JM, 2002. Effects of foliar fungicides on kernel black point of wheat in southern Saskatchewan. Can. J. Plant Pathol. 24: 287-293.
- Watkins JE, 2005. Black Point Disease of Wheat. University of Nebraska-Lincoln Extension, Institute of Agriculture and Natural Resources and United States Department of Agriculture.
- Williamson PM, 1997. Black point of wheat: in vitro production of symptoms, involved, and association with *Alternaria alternata*. Aust. J. of Agric. Res. 48: 13-19.

(Aceptado para publicación el 20 de marzo de 2012)

Evaluación de un lodo secado térmicamente en la fertilización de cultivo de cereal

M.M. Delgado¹, J.V. Martín, C. Rodríguez, R. Miralles de Imperial

INIA, Departamento de Medio Ambiente. Ctra. de La Coruña Km. 7.5, 28040 Madrid, España

Resumen

Se realizaron estudios de campo sobre los efectos producidos después de la aplicación del lodo secado térmicamente a varias dosis, comprobando la fertilidad de un cultivo de cereal de un suelo representativo de un agroecosistema semiárido. El diseño experimental constó de parcelas con cebada (*Hordeum vulgare* L.), avena (*Avena sativa*) y trigo (*Triticum aestivum*) enmendadas con 5000 (L 1), 8000 (L 2) y 12000 (L 3) kg/ha de lodo secado térmicamente, que se compararon con un suelo control (Testigo) y con un tratamiento de fertilización mineral (Mineral) consistente en 300 kg/ha de un abono triple 15-15-15 (N; P; K). En términos generales, la fertilización con el lodo secado térmicamente mejora la respuesta del cultivo, aumentando los valores de producción respecto al control y a la fertilización mineral, sin que se adviertan problemas de contaminación por metales pesados ni en grano ni en paja. El estudio de índices de eficiencia fertilizante revela que el empleo de la dosis más elevada (L 3) consigue un aprovechamiento más eficaz del nitrógeno aplicado.

Palabras clave: Cebada (*Hordeum vulgare* L.), avena (*Avena sativa*), trigo (*Triticum aestivum*), residuo orgánico.

Summary

Assessment of a thermally-dried sewage sludge in the fertilization of cereal crops

This research deals with the study of sewage sludge used in agriculture, with the aim of providing a suitable solution for the increasing production of this waste and improving soil fertility in a sustainable way. Effects of sewage sludge application to soil at different rates were studied in a semiarid agroecosystem. The experimental design included plots cropped to barley, oat and wheat and amended with sewage sludge thermally dried at rates 5000 (SW 1), 8000 (SW 2) y 12000 (SW 3) kg/ha and were compared to an unamended soil (control) and a soil treated with mineral fertilization (Mineral) with 300 kg/ha of 15-15-15 (N; P; K).

In general, fertilization with sewage sludge thermally dried improved crop response, increasing yield with respect to control soil and mineral treatment. No heavy metal pollution was observed in grain or straw. The study of fertilizer efficiency indexes revealed that the use of thermally-dried sewage sludge at high rates achieved more efficient use the applied N.

Key words: Barley (*Hordeum vulgare* L.), oat (*Avena sativa*), wheat (*Triticum aestivum*), organic waste.

1. Autor para correspondencia: delgado@inia.es

Introducción

La pérdida de materia orgánica del suelo se relaciona estrechamente con la merma del potencial agrícola y con el riesgo creciente de erosión. Este problema se hace más acuciante en la región mediterránea, donde las condiciones climáticas, unidas a prácticas agrícolas inadecuadas, han favorecido un agravamiento de los procesos degradativos del suelo, acelerando los riesgos de erosión y desertificación (Porta et al., 2003, Fernández et al., 2007).

La aplicación de lodos secado térmicamente se contempla como una opción eficaz para mejorar la calidad de los suelos e incrementar su fertilidad. En este contexto, la utilización de lodos secado térmicamente como fertilizantes o enmendantes orgánicos de suelos agrícolas está siendo ampliamente usada como sistema de gestión más económica, ya que contiene elementos nutrientes como: N, P, K, Ca y Mg en ciclos naturales agrícolas (Delgado et al., 2002, Antolín et al., 2005).

Hoy en día en España, el Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR) para el periodo 2008-2015, refleja que en 2006 se generaron 1.064.972 t de materia seca de lodos de depuradora de los que 68.7037 t se destinaron a valorización agrícola (MMA, 2006).

Los efectos de la adición de cualquier materia orgánica al suelo depende de las características de ambos, de la dosis, la época de aplicación y de las condiciones ambientales, por lo que los experimentos de campo están sujetos a una serie de variables difíciles de controlar y que repercuten indiscutiblemente en los resultados que se obtengan (Miralles de Imperial et al., 2002, Plaza et al., 2005). A pesar de estas limitaciones, la realización de estudios de campo a largo plazo proporciona una información extremadamente valiosa acerca de la capacidad fertilizante del residuo aplicado y la influencia que ejerce sobre el suelo y las plantas en condiciones reales (Delgado et al., 1999, Fernández et al., 2008).

En 2006 se inició un experimento de campo en la Finca "La Canaleja", situada en Alcalá de Henares (Madrid). El objetivo fundamental de este trabajo fue estudiar en condiciones de campo, los efectos de la aplicación del lodo secado térmicamente a varias dosis, sobre la fertilidad y los posibles riesgos de contaminación de un agroecosistema semiárido representativo.

Materiales y métodos

El experimento se ha desarrollado en la finca experimental "La Canaleja" perteneciente al INIA situada en el término municipal de Alcalá de Henares (Madrid). Sus coordenadas geográficas son 40°30' de latitud norte y 3°17' de longitud oeste y se encuentra a una altitud media de 600 m sobre el nivel del mar. El suelo se asienta sobre un material originario de arenas, cantos y gravas, con presencia de un horizonte cálcico a menos de un metro de profundidad. Se puede clasificar como Haploxeralf calciortidico según criterios USDA (MAPA, 1994). El suelo tiene textura franco arcillosa, con un contenido en carbonatos en torno al 5% y cuyas características químicas se reflejan en la tabla 1. Los datos meteorológicos se tomaron de la estación existente en la propia finca.

Las figuras 1 y 2 muestran las temperaturas y las precipitaciones medias mensuales de cada uno de los cuatro años hidrológicos de experimentación. Estas condiciones meteorológicas específicas de cada campaña tienen un efecto muy marcado sobre los cultivos, de manera que para una misma variedad, zona de producción y manejo de cultivo, la producción es muy variada en función de la meteorología.

Respecto a las temperaturas medias mensuales registradas durante el periodo estudiado cabe destacar que durante la primavera las

Tabla 1. Características del suelo
Table 1. Soil Characteristics

Suelo	pH 1:2,5 H ₂ O	N Total %	N-NO ₃ ⁻ mg/Kg	N-NH ₄ ⁺ mg/Kg	C/N	Orgánico Oxidable %	C.E. dSm ⁻¹ 25°C	METALES PESADOS mg/Kg					
								Cu	Zn	Pb	Ni	Cr	Cd
	8,42	0,089	2,27	2,71	4,5	0,4	0,17	9	50	9	75	3	0,005

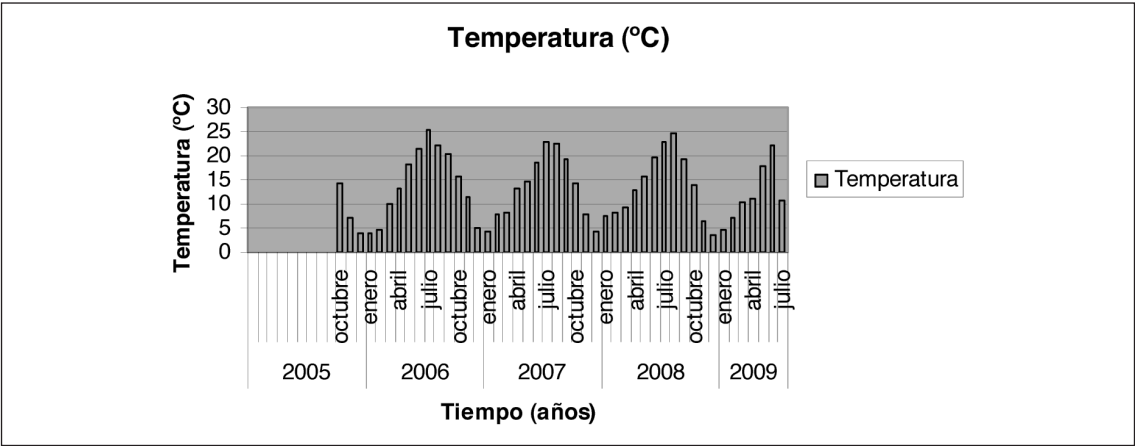


Figura 1. Temperaturas medias mensuales de cada uno de los cuatro años hidrológicos de experimentación.
Figure 1. Monthly average temperatures for each of the four hydrological years of experimentation.

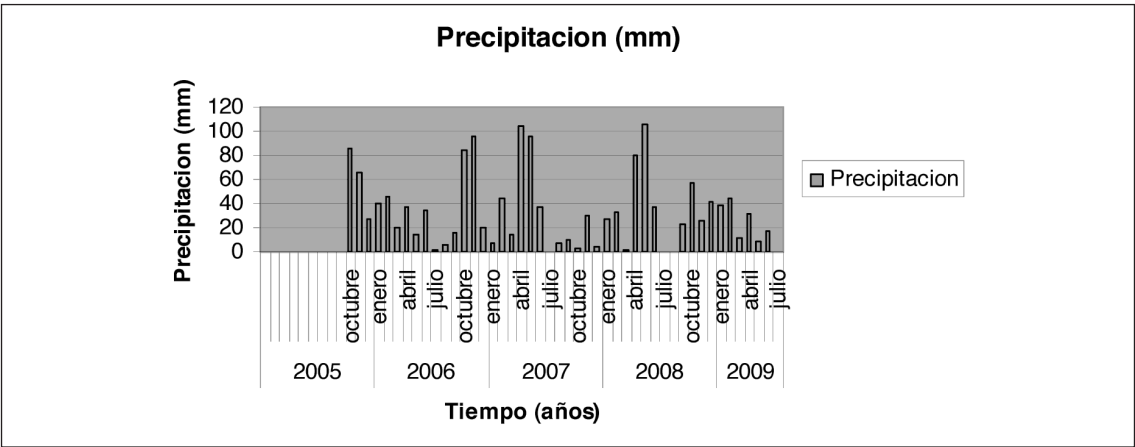


Figura 2. Precipitaciones medias mensuales de cada uno de los cuatro años hidrológicos de experimentación.
Figure 2. Monthly average rainfall for each of the four hydrological years of experimentation.

temperaturas medias mensuales fueron superiores a las correspondientes al año medio en los cuatro años estudiado, aunque de manera más pronunciada en la cosecha de 2008, coincidiendo con el final del ciclo del cultivo.

Las precipitaciones medias registradas en los cuatro años objeto de estudio 2005, 2006, 2007 y 2008 han sido: 394, 521, 345 y 274 mm respectivamente. En la primera campaña, las lluvias son más abundantes en otoño, mientras que la primavera es relativamente seca, con lluvias concentradas en octubre y noviembre. En la segunda campaña estudiada, los meses de primavera y otoño presentan precipitaciones abundantes. En la tercera campaña la situación es inversa a la primera campaña las precipitaciones aparecen en primavera concretamente los meses de abril y mayo. En la última campaña, las precipitaciones son escasas y se reparten de manera muy uniforme a lo largo del ciclo del cultivo.

Diseño experimental

El experimento constó de parcelas de 100 m² (20 x 5 m) con una rotación de cultivos de cereales: cebada/avena/trigo. La labor de alzado para levantar el rastrojo de cereal se realizó con arado de vertedera, una profundidad de 25-30 cm con tempero del suelo en los meses de septiembre- octubre. Después de alzar se dio un pase de cultivador con el que se incorporó el abonado. Se aplicaron 5000 (Lodo 1), 8000 (Lodo 2) y 12000 (Lodo 3) kg/ha de lodo secado térmicamente. Se compararon con un conjunto de parcelas no tratadas (testigo) y con un tratamiento de fertilización mineral (mineral) consistente en 300 kg/ha de un abono triple 15-15-15 (N; P; K).

El diseño experimental fue mediante bloques al azar con tres repeticiones.

Los tratamientos fueron:

- Mineral: 300 kg/ha 15-15-15 (N; P; K)

- Lodo 1: 5000 kg/ha lodo secado térmicamente
- Lodo 2: 8000 kg/ha lodo secado térmicamente
- Lodo 3: 12 000 kg/ha lodo secado térmicamente
- Testigo: sin fertilización

La incorporación del lodo secado térmicamente: Lodo 1 (5000 kg/ha), Lodo 2 (8000 kg/ha) y Lodo 3 (12000 kg/ha) que corresponde al nitrógeno aportado por el lodo y el necesario para la planta se realizó en los años 2005 y 2007 en la segunda quincena de octubre.

La fertilización mineral fue incorporada todos los años mediante un abonado de fondo (300 kg/ha) triple 15-15-15 (N; P; K).

El sistema de aplicación consistió en la distribución del lodo sobre surcos previamente preparados en el suelo con el propósito de evitar la contaminación de parcelas adyacente. Inmediatamente después el lodo fue incorporado al suelo mediante labores con cultivador. Posteriormente se realizó la siembra del cereal mecánicamente, con una sembradora a chorrillo de 6 botas, para parcelas experimentales a inicios de noviembre con una densidad de 140 kg/ha de semilla, equivalente a una 300 plantas/m².

Se seleccionó cebada (*Hordeum vulgare* L.) variedad Kika R-2, avena (*Avena sativa*) variedad Prevision R-1 y trigo blando (*triticum aestivum*) variedad Astral R-1 todas ellas de Agrosa, por su buena adaptación a las condiciones bioclimáticas y por ser un cultivo frecuente en la zona de estudio. En primavera se aplicó un tratamiento herbicida con glifosato en todas las parcelas. En junio de cada año se realizó la recolección de la cosecha con una cosechadora apropiada para trabajar con parcelas como las de este experimento.

Antes de cosechar las parcelas se recogieron muestras de planta en cada unidad experi-

mental para determinar los siguientes parámetros: rendimiento de materia seca, rendimiento de grano, índice de cosecha, número de espigas por unidad de superficie, número de granos por espiga, calidad de grano (peso específico y peso de 1000 granos), composición mineral (nitrógeno, fósforo y potasio) del grano y de la paja e índices de eficiencia fertilizante.

Las muestras de suelo se tomaron antes y después de la cosecha con un equipo de barrenas Eijkelkamp de media caña para muestreo seccionado. Los análisis realizados, tras secado al aire y tamizado a 2 mm de luz de malla, fueron: el pH se midió en una suspensión suelo/agua (1:2,5) mediante un electrodo de vidrio y realizando la medida en un pH-metro CRISON micro pH 2001 con compensación automática de temperatura, para la medida de la conductividad eléctrica (dS/m^{-1}), se utilizó un conductímetro CRISON micro CM 2201 en un extracto acuoso (1:5,0) (MAPA, 1994). El carbono orgánico oxidable, por el método de Walkey-Black consistente en la oxidación de la muestra con dicromato potásico por vía húmeda, utilizando un factor de oxidación de 1,29 ya que se supone que sólo el 77% del carbono orgánico presente en la muestra fue oxidado en las condiciones experimentales empleadas, *i. e.* mezclado de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 1 N y H_2SO_4 concentrado en proporción 2:1 y media hora digerido a temperatura ambiente (APHA, AWWA, WPCF. 2005). La concentración de nitrógeno total se determinó siguiendo el método Kjeldahl, que consiste en la digestión de la muestra con ácido sulfúrico concentrado. El nitrógeno orgánico se mineraliza, pasando a forma amoniacal, que junto con el amonio ya existente en la muestra se valora por colorimetría (Hesse, 1971). El contenido de P, K, Ca y Mg, así como los metales pesados (Pb, Ni, Cr, Cu, Pb y Cd) se midieron por espectrofotometría de emisión de plasma previa digestión ácida (HNO_3/HCL , 1:3) (Sims y Kline 1991).

El lodo de secado térmicamente que fue suministrado por el Ayuntamiento de Madrid, que se ha obtenido tratando los lodos procedentes de sus estaciones regeneradoras de aguas residuales con técnicas de secado térmico por cogeneración energética mediante un turbogenerador. Con este proceso se obtuvo un producto granulado seco, estable e higienizado, que reduce el transporte, mejora el almacenamiento y facilita la aplicación directa al terreno.

Los procesos de secado implican una reducción del peso y volumen del lodo generado, sin pérdida de sus componentes básicos, materias orgánicas y nutrientes esenciales para las plantas (De Castro 2004). Este lodo fue añadido a los campos de ensayo en las campañas 2005-2006 y 2007- 2008 y en tabla 2 se muestran las características químicas del lodo empleado (media de dos años 2005 y 2007). Los métodos utilizados para sus análisis son los mismos que los expuestos para el suelo.

Las muestras de vegetal fueron recogidas al final de la cosecha (julio) y después de molerlas se procedió a estudiar la distribución en la planta (grano y paja) de los nutrientes (N, P y K) según los distintos tratamientos en los diferentes cultivos. La concentración de nitrógeno total se determinó siguiendo el método Kjeldahl y el contenido de P, K, fue medido por espectrofotometría de emisión de plasma previa digestión ácida (HNO_3/HCL , 1:3).

Análisis estadístico

En cada experimento los tratamientos se replicaron tres veces y se distribuyeron al azar. Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza de múltiple rango (ANOVA) y prueba estadística LSD para comparar su media ($P \leq 0,05$), utilizando el programa estadístico Statgraphics (SAS Institute Inc.1999).

Tabla 2. Características del lodo secado térmicamente (media de 2005 y 2007)
 Table 2. Sewage sludge thermally- dried characteristics (average of 2005 and 2007)

Parámetro	Valor medio	Límites UE pH >7
Humedad (%)	7,3	
pH (1:2,5 H ₂ O)	7,2	
C.E. (dS/m 1:5,0 H ₂ O)	2,3	
Mat. Orgánica (%)	54,0	
Carbono Oxidable (%)	28,6	
Nitrógeno Kjeldahl (%)	4,2	
Fósforo -P- (%)	0,8	
Potasio -K- (%)	0,5	
Calcio -Ca- (%)	3,2	
Sodio-Na (%)	0,07	
Hierro -Fe- (%)	1,7	
Magnesio -Mg- (%)	0,8	
Cobre -Cu- (mg/kg)	241,5	1750,0 (mg/kg)
Plomo -Pb- (mg/kg)	30,0	1200,0 (mg/kg)
Cromo -Cr- (mg/kg)	31,6	1500,0 (mg/kg)
Zinc -Zn- (mg/kg)	930,5	4000,0 (mg/kg)
Níquel -Ni- (mg/kg)	40,6	400,0 (mg/kg)
Cadmio -Cd- (mg/kg)	0,2	40,0 (mg/kg)

Resultados y discusión

Efectos sobre el cultivo

El rendimiento de una cosecha puede considerarse en términos biológicos o agronómicos. El rendimiento biológico se define como la producción total de material vegetal, mientras que el agronómico tiene en cuenta aquella parte de la planta que resulta de interés para el cultivo que en caso del cereal es la producción de grano.

Con el fin de analizar conjuntamente el efecto ejercido en los años de experimento sobre

el rendimiento de cosecha, se ha calculado la producción total, tanto de grano como de materia seca, de cada uno de los tratamientos, así como el porcentaje de variación respecto al control y a la fertilización mineral (tablas 3, 4 y 5).

Los resultados indican que la cantidad total de grano y de materia seca aumenta con la adición consecutiva de dosis crecientes de lodo, hasta alcanzar el máximo con Lodo 3 (12000 kg/ha). Cuando se compara con la fertilización mineral, el rendimiento de materia seca se incrementa para todos los tratamientos, aunque el rendimiento total de

Tabla 3. Rendimiento de materia seca y de grano de cebada (Kg/Ha) en los diferentes tratamientos (media de los cuatro años) y variación respecto al testigo (%T) y a la fertilización mineral (% M)
Table 3. Dry matter yield and grain yield of barley (Kg/Ha) according to the different treatments (average of four years) and variation compared with the control (%T) and mineral fertilization (%M)

Rendimiento de materia seca				Rendimiento de grano		
Tratamiento	Total	%T	%M	Total	%T	%M
Testigo	12993a		-12	5696a		-13
Mineral	14690b	13		6542b	15	
L1	15647c	20	6	7030c	23	7
L2	16652d	28	13	7596d	33	16
L3	16820e	29	14	8078e	42	23
Valor p	*			*		

* $p < 0,05$ significativo. ns; no significativo ($p > 0,05$).

Valores seguidos de la misma letra en la misma columna no difieren significativamente según el test de LSD ($p < 0,05$).

Tabla 4. Rendimiento de materia seca y de grano de avena (Kg/Ha) en los diferentes tratamientos (media de los cuatro años) y variación respecto al testigo (%T) y a la fertilización mineral (% M)
Table 4. Dry matter yield and grain yield of oat (Kg/Ha) according to the different treatments (average of four years) and variation compared with the control (%T) and mineral fertilization (%M)

Rendimiento de materia seca				Rendimiento de grano		
Tratamiento	Total	%T	%M	Total	%T	%M
Testigo	13069d		1	3114a		-30
Mineral	12936c	-1		4427b	42	
L1	14055e	7	9	4779c	53	8
L2	11705ab	-10	-9	5597d	80	26
L3	12597c	-4	-3	6948e	123	57
Valor p	*			*		

* $p < 0,05$ significativo. ns; no significativo ($p > 0,05$).

Valores seguidos de la misma letra en la misma columna no difieren significativamente según el test de LSD ($p < 0,05$).

Tabla 5. Rendimiento de materia seca y de grano de trigo (Kg/Ha) en los diferentes tratamientos (media de los cuatro años) y variación respecto al testigo (%T) y a la fertilización mineral (%M)
Table 5. Dry matter yield and grain yield of wheat yield (Kg/Ha) according to the different treatments (average of four years) and variation compared with the control (%T) and mineral fertilization (%M)

Rendimiento de materia seca				Rendimiento de grano		
Tratamiento	Total	%T	%M	Total	%T	%M
Testigo	20893a		-10	4766a		-15
Mineral	23259e	11		5608b	18	
L1	22556c	8	-3	6015c	26	7
L2	23113d	11	-1	6686d	40	19
L3	21399b	10	-8	7940e	67	42
Valor p	*			*		

* $p < 0,05$ significativo. ns; no significativo ($p > 0,05$).

Valores seguidos de la misma letra en la misma columna no difieren significativamente según el test de LSD ($p < 0,05$).

grano solo es significativamente superior en los suelos que recibieron 12000 kg/ha.

Numerosos estudios indican que la aplicación de lodo de depuradora puede lograr rendimientos de cosecha satisfactorios, siendo posible sustituir la fertilización mineral parcial o totalmente. Sin embargo, la aplicación de dosis superiores a la óptima, calculada en función de las necesidades de fertilización del cultivo, las características del suelo y las condiciones ambientales, no siempre supone un aumento significativo de la producción, sino que conlleva un riesgo de contaminación.

La relación entre producción biológica y agronómica se define mediante el índice de cosecha (Mengel y Kirkby, 2001, Hernández 2006). Este parámetro representa la fracción de peso seco total de la planta que se encuentra en forma de grano. Refleja la eficacia del cultivo en el uso del fertilizante, ya que un índice de cosecha elevado indica una distribución mejor de compuestos asimila-

dos dentro de la planta, mayor en el grano que en el paja (Molina, 1989).

En las tablas 6, 7 y 8 se muestran el índice de cosecha para los tres cultivos cebada, avena y trigo respectivamente. En todas ellas se observa que el año que se ha obtenido mayor índice de cosecha ha sido en el año 2008 con la mayor eficacia del cultivo para la fertilización con lodo de mayor dosis (L3, 12000 kg/ha).

El estudio estadístico de las figuras anteriores se pueden observar que solamente aparecen diferencias significativas en el cultivo de cebada en el año 2007 y para el cultivo de avena y de trigo aparecen dos años con diferencias significativas el 2007 y 2009.

La producción de grano en los diferentes cultivos estudiados puede ser considerada como resultado del producto de ciertos parámetros, lo que permite estudiar la contribución de distintas partes de la planta a la producción de grano y la causa de variación en la cosecha final (Molina, 1989, Hernández, 2006). El ren-

Tabla 6. Índice de cosecha de cebada en los diferentes tratamientos
Table 6. Index oat harvest according to the different treatments

Tratamiento	2006	2007	2008	2009
Testigo	0,38a	0,36a	0,79a	0,42a
Mineral	0,35a	0,32ab	0,76a	0,38a
L1	0,36a	0,28a	0,76a	0,42a
L2	0,37a	0,30ab	0,71a	0,40a
L3	0,32a	0,28a	0,67a	0,36a
Valor p	ns	*	ns	ns

Tabla 7. Índice de cosecha de avena en los diferentes tratamientos
Table 7. Index barley harvest according to the different treatments

Tratamiento	2006	2007	2008	2009
Testigo	0,55a	0,71b	0,64a	0,25b
Mineral	0,37a	0,27a	0,66a	0,08a
L1	0,37a	0,11a	0,62a	0,03a
L2	0,37a	0,06a	0,67a	0,24a
L3	0,37a	0,17a	0,69a	0,04a
Valor p	ns	*	ns	*

Tabla 8. Índice de cosecha de trigo en los diferentes tratamientos
Table 8. Index wheat harvest according to the different treatments

Tratamiento	2006	2007	2008	2009
Testigo	0,21a	0,29ab	0,66a	0,35b
Mineral	0,26a	0,31b	0,70a	0,25a
L1	0,17a	0,27ab	0,64a	0,28ab
L2	0,16a	0,22a	0,74a	0,24a
L3	0,18a	0,27ab	0,70a	0,19a
Valor p	ns	*	ns	*

dimiento de grano puede expresarse como el producto entre el número de espigas por unidad de superficie, el número de granos por espiga y el peso medio del grano. El producto de los dos primeros se denomina factor de acumulación o capacidad de almacenamiento y equivale al número de granos por unidad de superficie, mientras que el peso medio por grano indica la medida en que esta capacidad se transforma en rendimiento final.

En las tablas 9, 10 y 11 se presentan los resultados obtenidos en el número de espigas, nú-

mero de granos por espiga y factor de acumulación (número de granos/m²) respectivamente. En el cultivo de cereal, el número final de espigas depende tanto de la cantidad de tallos formados durante el ahijado como de la proporción de los mismos que sobrevivan y que puedan diferenciarse para desarrollar un espiga viable (García del Moral et al., 2002). Por otra parte, los granos por espiga resultan del número de primordios florales formados, de la cantidad de ellos que den una espiguilla fértil y del porcentaje de estas que originen granos viables (Antolín et al., 2005).

Tabla 9. Número de espigas de cebada, avena y trigo (espigas/m²) en los diferentes tratamientos (media de los cuatro años)
Table 9. Number of spikes of barley, oat and wheat (spikes/m²) according to the different treatments (average of four years)

Tratamiento	Cebada	Avena	Trigo
Testigo	145a	86a	329a
Mineral	335bc	92a	303a
L1	418c	124a	346a
L2	282b	96a	347a
L3	350bc	101a	261a
Valor p	*	ns	ns

Tabla 10. Número de granos por espiga de cebada, avena y trigo (granos/espiga) en los diferentes tratamientos (media de cuatro años)
Table 10. Number of grains per spike of barley, oat and wheat (grains/spike) according to the different treatments different (average of four years)

Tratamiento	Cebada	Avena	Trigo
Testigo	20ab	27a	22a
Mineral	20a	29a	26ab
L1	23b	28a	30b
L2	22ab	23a	30b
L3	23b	32a	28b
Valor p	*	ns	*

* p < 0,05 significativo. ns; no significativo (p > 0,05).

Valores seguidos de la misma letra en la misma columna no difieren significativamente según el test de LSD (p < 0,05).

Tabla 11. Factor de acumulación (número de granos/m²) de cebada, avena y trigo en los diferentes tratamientos (media de cuatro años)
Table 11. Accumulation factor (grains/ m²) of barley, oat and wheat according to the different treatments (average of four years)

Tratamiento	Cebada	Avena	Trigo
Testigo	2922a	2399a	7378a
Mineral	6846bc	2334a	7886a
L1	9701c	3816a	10792a
L2	6043ab	2099a	10464a
L3	8102bc	3296a	7171a
Valor p	*	ns	ns

Calidad del grano

La evaluación de la calidad del grano obtenido en cada cosecha se ha realizado en función de dos parámetros relacionados con el tamaño y el peso del grano: el peso específico y el peso de mil granos. Los valores medios se muestran en las tablas 12 y 13.

Los resultados encontrados sobre el peso específico de grano se encontró que para el cultivo de avena y trigo no fueron estadísticamente significativos solamente se encontró diferencias para el cultivo de cebada.

Respecto al peso de mil granos, solamente aparecen diferencias significativas en el cul-

Tabla 12. Peso específico del grano de cebada, avena y trigo (kg/m³) en los diferentes tratamientos (media de cuatro años)
Table 12. Specific weight of barley, oat and wheat grain ((kg/m³) according to the different treatments (average of four years)

Tratamiento	Cebada	Avena	Trigo
Testigo	605b	428a	546a
Mineral	534ab	451a	526a
L1	466a	415a	543a
L2	536ab	426a	504a
L3	531ab	412a	511a
Valor p	*	ns	ns

* $p < 0,05$ significativo. ns; no significativo ($p > 0,05$).

Valores seguidos de la misma letra en la misma columna no difieren significativamente según el test de LSD ($p < 0,05$).

Tabla 13. Peso de mil granos de cebada, avena y trigo (g) en los diferentes tratamientos (media de cuatro años)
 Table 13. Thousand grains of barley, oat and wheat (g) according to the different treatments (average of four years)

Tratamiento	Cebada	Avena	Trigo
Testigo	36a	22ab	24a
Mineral	34a	28b	25a
L1	29a	15a	19a
L2	32a	14a	21a
L3	32a	17a	20a
Valor p	ns	*	ns

* $p < 0,05$ significativo. ns; no significativo ($p > 0,05$).

Valores seguidos de la misma letra en la misma columna no difieren significativamente según el test de LSD ($p < 0,05$).

tivo de avena. Según Molina, 1989 el peso del grano es función de la etapa de maduración y de la velocidad de crecimiento de grano y se considera un componente de la cosecha relativamente estable bajo condiciones normales de cultivo. Un peso de grano menor indica un descenso en los aportes de compuestos asimilado; debido especialmente a condiciones ambientales desfavorables como una mayor sequedad y temperatura al final del ciclo del cultivo (Hernández, 2006).

Composición mineral

Se puede estudiar la distribución en la planta de los nutrientes según lo distintos tratamientos en los diferentes cultivos. El nitrógeno es, en general, el macronutriente más afectado por la adición de lodo, especialmente en grano ya que la cantidad de nitrógeno en el grano conduce a la estimación de contenidos proteicos ($\text{gN/kg} \times 0,64$) del orden de 8,7-13,6% (Tarrasón et al., 2008).

En la tabla 14 se muestra la concentración de nitrógeno en el grano y en la paja para el cul-

tivo de cebada en la que la concentración de nitrógeno aumenta con la dosis más elevadas de lodo y ha resultado que existen diferencias significativas en todos los años a excepción del año 2007 para el grano y en los años 2007 y 2009 para la paja.

La tabla 15 muestra la concentración de nitrógeno en el grano y en la paja para el cultivo de avena. La concentración de nitrógeno en grano aumentó con la dosis más elevada de lodo excepto los años 2007 y 2008 que disminuyó con el aumento de dosis y no aparecieron diferencias significativas. Para la paja no existen diferencias significativas en ningún año excepto para el año 2007.

En la tabla 16 se muestra la concentración de nitrógeno en el grano y en la paja para el cultivo de trigo en la que la concentración de nitrógeno aumenta con la dosis más elevadas de lodo excepto en el año 2006 que disminuyó con el aumento de dosis y no existiendo diferencias significativas en este año y en el 2008 en el grano. Para la paja no existen diferencias significativas solamente para el año 2007.

Tabla 14. Concentración de nitrógeno en grano y paja de cebada (g/Kg)
en los diferentes tratamientos

*Table 14. Nitrogen concentration in grain and straw of barley (g/Kg)
according to the different treatments*

	grano	paja	grano	paja	grano	paja	grano	paja
Tratamiento	2006		2007		2008		2009	
Testigo	17,9a	4,3a	16,4a	2,2a	17,2a	4,8a	10,9ab	3,5a
Mineral	21,0a	5,5ab	16,6a	2,8a	19,2a	6,2ab	7,1a	3,5a
L1	19,8a	4,5a	16,6a	3,5a	20,1a	10,1ab	9,9ab	3,2a
L2	30,5b	6,2ab	19,2a	4,0a	8,71a	11,6bc	15,5b	4,9a
L3	24,0ab	9,4b	17,2a	4,1a	27,6b	16,8c	25,3c	6,5a
Valor p	*	*	ns	ns	*	*	ns	ns

* $p < 0,05$ significativo. ns; no significativo ($p > 0,05$).

Valores seguidos de la misma letra en la misma columna no difieren significativamente según el test de LSD ($p < 0,05$).

Tabla 15. Concentración de nitrógeno en grano y paja de avena (g/Kg) en los diferentes tratamientos

*Table 15. Nitrogen concentration in grain and straw of oat (g/Kg)
according to the different treatments*

	grano	paja	grano	paja	grano	paja	grano	paja
Tratamiento	2006		2007		2008		2009	
Testigo	21,7ab	4,4a	16,4a	2,2a	18,9a	4,5a	16,5ab	7,8a
Mineral	18,9a	5,3a	16,6a	2,8a	20,0a	9,0b	7,5a	10,9ab
L1	21,1ab	6,7ab	19,2a	3,5a	20,3a	9,4b	10,9ab	13,9ab
L2	22,5b	9,5bc	19,2a	4,0a	20,3a	11,7b	10,9ab	13,8ab
L3	23,3b	11,0c	17,2a	4,1a	15,5a	9,3b	19,6b	16,1b
Valor p	*	*	ns	ns	ns	*	*	*

* $p < 0,05$ significativo. ns; no significativo ($p > 0,05$).

Valores seguidos de la misma letra en la misma columna no difieren significativamente según el test de LSD ($p < 0,05$).

Tabla 16. Concentración de nitrógeno en grano y paja de trigo (g/Kg) en los diferentes tratamientos
Table 16. Nitrogen concentration in grain and straw of wheat (g/Kg) according to the different treatments

	grano	paja	grano	paja	grano	paja	grano	paja
Tratamiento	2006		2007		2008		2009	
Testigo	29,3a	5,1a	19,9ab	3,6a	18,6a	2,6a	13,6a	3,7a
Mineral	29,3a	8,5ab	11,4a	3,1a	20,6a	3,7a	18,4ab	7,9b
L1	35,2a	11,0b	17,9ab	5,3a	1,96a	3,8ab	25,3abc	6,5b
L2	36,2a	10,0b	24,7b	4,0a	20,0a	3,4a	29,6bc	7,7b
L3	34,9a	11,0b	26,2b	6,2a	22,3a	7,1b	34,0c	12,4c
Valor p	ns	*	*	ns	ns	*	*	*

* $p < 0,05$ significativo. ns; no significativo ($p > 0,05$).

Valores seguidos de la misma letra en la misma columna no difieren significativamente según el test de LSD ($p < 0,05$).

La tabla 17 muestra la concentración de fósforo en el grano y en la paja para el cultivo de cebada. En el año 2006, la concentración de fósforo en grano para el cultivo de cebada, aumentó en el tratamiento mineral, no obstante el tratamiento estadístico no revela diferencias significativas entre los valores medios. En los años siguientes la concentración de fósforo aumento ligeramente con la adición de lodo presentando niveles significativamente diferentes en los años 2007 y 2008. Por el contrario, la concentración de fósforo en la paja de cebada apenas se ve afectada por los diferentes tratamientos y no se observan variaciones significativas en ninguno de los años estudiados.

El lodo de depuradora aporta elevadas cantidades de fósforo, en su mayor parte presente en forma inorgánica (Sánchez y González, 2005 Beltrán et al., 2005). Sin embargo, su absorción por el cultivo puede verse no-

tablemente disminuida como consecuencia del incorporación de calcio, también presente en los lodos de depuradora, y del incremento del pH del suelo, que favorecen la formación de formas no asimilables por la planta (Whalen y Chang, 2001).

En el caso del cultivo de avena (tabla 18) existen diferencias significativas en el grano y en la paja en todos los años excepto en el año 2006 en la paja. Al contrario es lo que sucede para el cultivo de trigo que en la paja existe diferencias significativas en todos los años y en el grano solo los años 2008 y 2009 (tabla 19).

El contenido de potasio en grano y paja de los cultivos de cebada, avena y trigo aparecen reflejados en las tablas 20, 21 y 22. El cultivo de trigo es el que más diferencia significativa presenta y en los demás cultivos apenas presentan variaciones significativas con los distintos tratamientos.

Tabla 17. Concentración de fósforo en grano y paja de cebada (g/Kg) en los diferentes tratamientos
Table 17. Phosphorus concentration in grain and straw of barley (g/Kg) according to the different treatments

	grano	paja	grano	paja	grano	paja	grano	paja
Tratamiento	2006		2007		2008		2009	
Testigo	3,8a	0,8a	2,7a	0,41a	3,5a	0,8a	2,9a	0,9a
Mineral	5,3a	1,3a	2,8ab	0,7a	3,8a	1,3a	3,6a	1,1a
L1	4,0a	1,0a	2,5ab	0,5a	3,6a	1,1a	4,2a	1,1a
L2	3,2a	1,1a	3,1ab	0,7a	3,6a	1,1a	3,2a	1,3a
L3	3,4a	1,1a	3,2b	0,7a	3,8a	1,1a	3,4a	1,4a
Valor p	ns	ns	*	ns	*	ns	ns	ns

* $p < 0,05$ significativo. ns; no significativo ($p > 0,05$).

Valores seguidos de la misma letra en la misma columna no difieren significativamente según el test de LSD ($p < 0,05$).

Tabla 18. Concentración de fósforo en grano y paja de avena (g/Kg) en los diferentes tratamientos
Table 18. Phosphorus concentration in grain and straw of oat (g/Kg) according to the different treatments

	grano	paja	grano	paja	grano	paja	grano	paja
Tratamiento	2006		2007		2008		2009	
Testigo	2,7a	0,4a	2,7a	0,4a	2,7a	0,4a	2,7a	0,4a
Mineral	2,8ab	0,7a	2,7a	0,7ab	2,8a	0,7ab	2,8ab	0,5ab
L1	2,8ab	0,5a	2,9ab	0,6ab	2,8a	0,5ab	2,8ab	0,7ab
L2	3,1ab	0,7a	3,1ab	0,7ab	3,1ab	0,7ab	3,1b	0,7ab
L3	3,2b	0,7a	3,3b	0,8b	3,2b	0,8b	3,2b	0,8b
Valor p	*	ns	*	*	*	*	*	*

* $p < 0,05$ significativo. ns; no significativo ($p > 0,05$).

Valores seguidos de la misma letra en la misma columna no difieren significativamente según el test de LSD ($p < 0,05$).

Tabla 19. Concentración de fósforo en grano y paja de trigo (g/Kg) en los diferentes tratamientos
Table 19. Phosphorus concentration in grain and straw of wheat (g/Kg)
according to the different treatments

	grano	paja	grano	paja	grano	paja	grano	paja
Tratamiento	2006		2007		2008		2009	
Testigo	3,21a	0,5a	3,1a	0,5a	2,2a	0,5a	2,3a	0,5a
Mineral	3,2a	0,7ab	3,2a	0,7ab	2,3a	0,6a	2,7a	0,7a
L1	3,7a	0,9ab	3,7a	1,0bc	3,0b	0,9ab	3,7b	0,9ab
L2	3,7a	1,3c	3,7a	1,1bc	3,6bc	1,3bc	3,9b	1,2b
L3	3,9a	1,0bc	3,8a	1,2c	3,8c	1,4c	4,0b	1,3b
Valor p	ns	*	ns	*	*	*	*	*

* $p < 0,05$ significativo. ns; no significativo ($p > 0,05$).

Valores seguidos de la misma letra en la misma columna no difieren significativamente según el test de LSD ($p < 0,05$).

Tabla 20. Concentración de potasio en grano y paja de cebada (g/Kg) en los diferentes tratamientos
Table 20. Potassium concentration in grain and straw of barley (g/Kg)
according to the different treatments

	grano	paja	grano	paja	grano	paja	grano	paja
Tratamiento	2006		2007		2008		2009	
Testigo	6,8a	14,6a	3,6a	11,5a	6,6a	13,9a	4,9a	13,1a
Mineral	9,6a	17,2a	3,9a	11,5a	8,9a	15,3ab	5,9a	12,4a
L1	6,7a	14,3a	3,7a	14,8a	6,5a	16,4ab	5,6a	13,9a
L2	5,1a	19,5a	4,2a	11,2a	5,2a	19,0b	5,9a	19,2b
L3	5,7a	17,8a	4,3a	12,4a	5,8a	19,3b	6,4a	20,1b
Valor p	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	*

* $p < 0,05$ significativo. ns; no significativo ($p > 0,05$).

Valores seguidos de la misma letra en la misma columna no difieren significativamente según el test de LSD ($p < 0,05$).

Tabla 21. Concentración de potasio en grano y paja de avena (g/Kg) en los diferentes tratamientos
Table 21. Potassium concentration in grain and straw of oat (g/Kg) according to the different treatments

	grano	paja	grano	paja	grano	paja	grano	paja
Tratamiento	2006		2007		2008		2009	
Testigo	3,7a	11,4a	3,6a	11,0a	3,6a	10,5a	3,6a	7,8a
Mineral	3,9a	11,1a	3,8a	11,2a	3,7a	10,6a	3,8ab	11,1a
L1	3,8a	11,5a	3,9a	12,5a	3,9a	12,0a	3,8ab	12,1a
L2	4,2a	11,2a	4,2a	11,9a	4,1a	11,9a	4,1ab	11,2a
L3	4,4a	12,4a	4,4a	13,2a	4,4a	12,4a	4,6b	12,4a
Valor p	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns

* $p < 0,05$ significativo. ns; no significativo ($p > 0,05$).

Valores seguidos de la misma letra en la misma columna no difieren significativamente según el test de LSD ($p < 0,05$).

Tabla 22. Concentración de potasio en grano y paja de trigo (g/Kg) en los diferentes tratamientos
Table 22. Potassium concentration in grain and straw of wheat (g/Kg) according to the different treatments

	grano	paja	grano	paja	grano	paja	grano	paja
Tratamiento	2006		2007		2008		2009	
Testigo	3,6a	11,0a	3,6a	6,7a	2,7a	5,3a	3,0a	6,5a
Mineral	3,3a	10,1a	3,2a	10,6ab	3,0ab	9,6ab	3,1a	6,7a
L1	3,3a	9,5a	3,3a	11,5ab	3,3bc	10,0ab	3,3a	9,5a
L2	3,5a	13,9a	3,4a	13,6b	3,4bc	12,8b	3,5a	13,7ab
L3	3,7a	14,8a	3,7a	14,5b	3,7c	14,4b	3,7a	14,7b
Valor p	ns	ns	ns	*	*	*	ns	*

* $p < 0,05$ significativo. ns; no significativo ($p > 0,05$).

Valores seguidos de la misma letra en la misma columna no difieren significativamente según el test de LSD ($p < 0,05$).

Conclusiones

Los resultados de este estudio permiten recomendar dosis adecuadas para el aprovechamiento agronómico de los lodos secado térmicamente procedente de estaciones depuradoras de la zona centro de España para cultivo de cereal.

En general, la fertilización con el lodo secado térmicamente mejora la respuesta del cultivo de cereal, aumentando los valores de producción respecto al control y a la fertilización mineral, sin que se adviertan problemas de contaminación por metales pesados ni en grano ni en paja. El estudio de índices de eficiencia fertilizante revela que el empleo de la dosis más elevada (L 3) consigue un aprovechamiento más eficaz del nitrógeno aplicado.

Agradecimientos

Este estudio se realizó gracias al proyecto RTA2008-00040-00-00 financiado por el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología agraria y alimentaria (INIA-FEDER). Los autores agradecen a Jesús García, María Isabel González y Ángela García por su colaboración en las tareas de campo y laboratorio.

Bibliografía

- Antolín MC, Pascual J, Garcia C, Polo A, Sanchez-Diaz M, 2005. Growth, yield and soluble contents of barley in soils treated with sewage sludges under semiarid Mediterranean conditions, *Field Crops Research*, 94: 224-237.
- APHA, AWWA, WPCF, 2005. *Standard Methods for the Examination of water and Wastewater*. 21st ed. American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation, Washington, 874 p.
- Beltrán EM, Miralles de Imperial R, Porcel MA, Beringola L, Martín JV, y Delgado M, 2005. Influencia de la fertilización con lodos de depuradora compostados en las propiedades químicas del suelo de dos olivares. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 21: 143-150.
- De Castro J, 1994. El secado térmico de los lodos de depuración. *Tecnoambiente*, 142: 27-32.
- Delgado M, Miralles de Imperial R, Porcel M, Beringola M, 1999. Mineralización del nitrógeno procedente de residuos orgánicos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 15: 19-25.
- Delgado M, Porcel MA, Miralles de Imperial R, Beltrán EM, Beringola L, Martín JV, 2002. Sewage sludge compost fertilizer effect on maize yield and soil heavy metal concentration. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 18: 147-150.
- Fernández J M., Hernández D, Plaza C, Polo A, 2007. Organic matter in degraded agricultural soils amended with composted and thermally-dried sewage sludge. *Science of the Total Environment*, 378: 75-80.
- Fernández J M., Hockaday WC, Plaza C, Polo A, Hatcher PG, 2008. Effects of long term soil amendment with sewage sludges on soil humic acid thermal and molecular properties. *Chemosphere*, 73: 1838-1844.
- García del Moral F, Miralles DF, Slafer GA, 2002. *Initiation and appearance of vegetative and reproductive structures thought barley development*. En: Slafer, G.A. (Ed.), *barley Science: recent advances from molecular biology to agronomy on yield and quality*. Food Products JK Press, Nueva York, pp. 243-267.
- Hernández D, 2006. Utilización del purín de cerdo com enmienda orgánica en suelos degradados: valorización agronómica y ambiental. Tesis Doctoral. Madrid, 257 p.
- Hesse PR, 1971. *Total nitrogen: the Kjeldahl Process*. A Textbook of soil chemical analysis. Murray, Gran Bretaña. 520 p.
- MAPA 1994. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Métodos Oficiales de Análisis. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid. Tomo III, 662 p.
- MMA 2006. Ministerio de Medio Ambiente: II Plan Nacional de lodos de depuradora de aguas residuales-EDAR IIPNLD (2007-2015). Plan nacional integrado de residuos (PNIR).

- Miralles de Imperial R, Beltrán EM, Porcel MA, Beringola ML, Martín JV, Calvo R, Delgado MM, 2002. Influencia de tres tipos de lodo de estaciones depuradoras en el desarrollo de estacillas de olivo. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 18: 163-169.
- Mengel K, Kirkby E, 2001. Principles of plant nutrition. 5th ed. Kluwer Academic publishers, Dordrecht (The Netherlands), 256 p.
- Molina JL, 1989. *La cebada. Morfología, fisiología, genética, agronomía y usos industriales*, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, 321 p.
- Plaza C, Brunetti G, Senesi N, Polo A, 2005. Proton binding to humic acids from organic amendments and amended soils by the NICA-Donnan model. *Environmental Science and Technology*, 39: 6692-6697.
- Porta J, López-Acevedo M, Roquero C, 2003. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. 3ª ed. Ediciones Mundi Prensa, Madrid, 210 p.
- Sánchez M, González JL, 2005. The fertilizer value of pig slurry. I. Values depending on the type of operation. *Bioresearch Technology*, 96: 117-123.
- SAS Institute Inc. 1999. *User's guide*. Cary, North, Carolina, 891-996.
- Sims JT, Kline JS, 1991. Chemical fractionation and plant uptake of heavy metals in soils amended with co-composted sewage sludge. *Journal Environmental Quality*, 20: 387-395.
- Tarrasón D, Ojeda G, Ortiz o, Alcañiz JM, 2008. Differences on nitrogen availability in a soil amended with fresh, composted and thermally-dried sewage sludge. *Bioresouce technology*, 99: 252-259.
- Whalen JK, Chang C, 2001. Phosphorus accumulation in cultivated soils from long-term annual applications of cattle feedlot manure. *Journal Environmental Quality*, 30: 229-237.

(Aceptado para publicación el 22 de marzo de 2012)

Evaluación de nutrientes lixiviados bajo cultivo de maíz por aporte de estiércoles de granjas avícolas

R. Miralles de Imperial^{*,1}, J.V. Martín^{*}, R. Calvo^{**} y M.M. Delgado^{*}

^{*} INIA. Dpto. de Medio Ambiente

^{**} INIA. Servicio de Biometría. Ctra. de La Coruña km. 7,5. 28040 Madrid

Resumen

El uso de estiércoles avícolas como fertilizante en los cultivos constituye una práctica medioambiental correcta si se aplica en las dosis adecuadas para el cultivo y que a su vez no contaminen ni el suelo ni el agua. Con el fin de evaluar el uso de gallinazas como fertilizante se condujo un ensayo en invernadero y macetas con dos tratamientos: gallinaza de gallina ponedora y gallinaza de pollo de engorde, en cultivo de maíz (*Zea mays* L.). El objetivo fue estudiar y comparar el posible efecto contaminante por lixiviación de nutrientes de las dos gallinazas y la respuesta del maíz a esta fertilización. Las dosis de gallinazas aplicadas fueron d0 (sin fertilización), d1 (la que cubre las necesidades en nitrógeno del cultivo), d1,5 y d2 (1,5 y doble de la dosis d1). Se forzaron cinco lixiviados a lo largo del ciclo del cultivo. Las variables que se evaluaron en los lixiviados fueron el volumen de drenaje y las concentraciones de N-NH_4^+ , N-NO_3^- , fósforo y potasio. La metodología seguida para ajustar estimar y comparar los tratamientos fue la del modelo mixto no lineal. Los tratamientos: gallinaza de gallina ponedora y gallinaza de pollo de engorde y las dosis d1, d1,5 y d2 fueron significativamente diferentes. Para ambas gallinazas fue la dosis d2 la más contaminante para las cuatro variables estudiadas en los lixiviados. La mayor producción de biomasa se obtuvo con la dosis d1 de gallinaza de pollo de engorde.

Palabras clave: Fósforo, gallinaza de gallina ponedora, gallinaza de pollo engorde, N-NH_4^+ , N-NO_3^- , potasio, *Zea mays*.

Summary

Leaching of nutrients from corn culture in amended soil with poultry manure

The use of poultry manure as fertilizer in agriculture could be a correct agricultural practise if application is made at the optimum rate that maximize culture production and minimize pollution of soil and water. In order to evaluate the application of poultry manure as fertilizer a trial was carried out in a greenhouse with corn (*Zea mays* L.) cultivated in pots. Two types of poultry manures were applied: laying hen and straw broiler litter. The aim of this work was to study and compare the possible effect on leaching of nutrients of the two poultry manure and the corn response to poultry manure fertilization. The rates of poultry manure applied were: d0 (without fertilizer), d1 (the rate that covered the corn nitrogen requirements), d1.5 (1.5 times d1) and d2 (2 times d1). Leaching was forced 5 times during crop development. The variables studied on leaching were: the leached volume and the $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$, phosphorus and potassium concentrations. The methodology to adjust estimation and to compare the models was the nonlinear mixed models. Treatments: laying hen and straw broiler litter and the rates d1, d1.5 and d2 were significantly different. In both poultry manures the rate d2 was the most polluting for the four leaching studied variables. The highest biomass production was obtained with rate d1 of straw broiler litter.

Key words: Broiler litter, laying hen, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$, phosphorus, potassium, *Zea mays*.

1. Autor para correspondencia: miralles@inia.es

Introducción

La avicultura intensiva genera unos estiércoles o gallinazas que hay que manejar y gestionar adecuadamente para no generar problemas ambientales. La valoración agrícola de estas gallinazas y su aplicación como fertilizante a los cultivos constituye un valor de gestión medioambiental en las explotaciones avícolas.

En avicultura intensiva las aves destinadas a producción de carne se crían durante un ciclo de aproximadamente 45 días sobre un lecho o cama, así las gallinazas de pollos de engorde están constituidas por una mezcla de heces, plumas y las camas utilizadas, como la paja de cereales. Por otro lado, las aves destinadas a la producción de huevos se mantienen en jaulas, sus deyecciones pasan a una cinta transportadora o a un foso que están situados bajo las jaulas, y están constituidas solamente por las heces y plumas.

Para el sector ganadero la adecuada gestión de los estiércoles producidos minimizando los impactos negativos sobre el medio ambiente debe ser una prioridad. La Ley 10/1998 de Residuos (BOE, 1998) contempla que no serán considerados como residuos, a los efectos de esta Ley, los estiércoles ganaderos cuando se utilizan en el marco de las explotaciones agrarias. En las explotaciones de aves, solamente se deberán notificar los contaminantes vertidos al agua (nitrógeno y fósforo total), cuando las explotaciones ganaderas dispongan de depuradoras con vertido directo a cauce. Por otro lado la utilización agrícola de las deyecciones ganaderas debe ser acorde con distintas directivas, como la relativa a la protección de las aguas frente a la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias que se regula por el Real Decreto 261/1996 (BOE, 1996) y las normativas específicas dictadas por cada Comunidad Autónoma, o la relativa a la prevención y el control integrado de la

contaminación (IPPC) transpuesta por la Ley 16/2002 (BOE, 2002), que regula los índices de emisión a la atmósfera, al agua y al suelo, incluidas las medidas relativas a los residuos con el fin de alcanzar unos niveles elevados de protección del medio ambiente usando la Mejor Tecnología Disponible.

El aporte nitrogenado es un aspecto básico de la nutrición de la gallina ponedora, el calcio y el fósforo (P) son necesarios para el mantenimiento del esqueleto y para la formación de la cáscara del huevo. Las necesidades de P aumentan en animales con altas producciones y la disponibilidad del P en los vegetales es baja por lo que resulta esencial suplementar las dietas de ponedoras con P inorgánico. El contenido en potasio (K) de la mayoría de los vegetales es elevado aunque puede ser interesante suplementarlo en raciones de elevado nivel proteico con K inorgánico (Blas y González, 1991). La composición de la gallinaza depende fundamentalmente del balance nutricional de la dieta aportada, del metabolismo del animal, edad, clima, etc. Cuanto mejor y más eficientemente utilicen las aves los nutrientes presentes en el alimento menor será la carga de elementos, principalmente, compuestos nitrogenados y P, eliminados con las deyecciones.

La lluvia o el riego pueden arrastrar los nutrientes aportados con las gallinazas, u otras deyecciones ganaderas, a los campos agrícolas y estos pueden llegar a corrientes de agua superficiales o subterráneas cercanas (García *et al.*, 2009). La contaminación por lixiviado de nutrientes después de aplicar gallinazas ha sido estudiada por varios autores que controlaron las pérdidas de nitrógeno, fósforo y potasio.

Las pérdidas de nitrógeno por aplicación de gallinazas fueron estudiadas por: Wood *et al.* (1996), que obtuvieron un incremento significativo del lavado de N-NO_3^- con gallinaza de pollo de engorde (GPE) a dosis de 18 t ha^{-1} con

respecto a una dosis de 9 t ha^{-1} ; Agele *et al.* (2004), aplicaron GPE en dosis de 10 t ha^{-1} a un cultivo de *Amaranthus cruentus* y obtuvieron unas pérdidas por lixiviación de N-NO_3^- del $5,6 \text{ kg ha}^{-1}$ con GPE mayores que las de un testigo (sin fertilización) que fueron de 3 kg ha^{-1} .

Las pérdidas de fósforo por aplicación de gallinazas fueron estudiadas por: Hodgkinson *et al.* (2002), que aplicaron GPE en un suelo arcilloso y en los lixiviados encontraron un ligero incremento de la concentración de P respecto al testigo sin fertilización; Smith *et al.*, 2004, comprobaron que las pérdidas por lixiviado de P en pastos fertilizados con GPE eran mayores si estos provenían de aves alimentadas con una dieta clásica (normal) que los GPE de aves en cuya dieta se incluían fitasas; Vadas *et al.* (2004) estudiaron el efecto de la adición de fitasas y reducción del suplemento de P inorgánico en las dietas de las aves y el efecto de estas GPE sobre el P lixiviado en suelos enmendados con gallinazas frescas o compostadas, y comprobaron que al añadir fitasas y reducir la cantidad de P en las dietas las pérdidas de P fueron menores.

Las pérdidas de potasio (K) por aplicación de gallinazas fueron estudiadas por: Yavinder *et al.* (2005) que aplicaron estiércoles avícolas a dos tipos de suelo (arenoso y arcilloso), las pérdidas de K en los suelos tratados con GPE fueron superiores a las del control de referencia, y mayores para el suelo arenoso que el arcilloso.

Pirani *et al.* (2007), estudiaron durante dos años el lixiviado de nitrógeno, fósforo y potasio, en un cultivo de *Festuca arundinacea* fertilizado con GPE a dosis de: 0 (sin fertilización), $5,6 \text{ t ha}^{-1}$ y $11,2 \text{ t ha}^{-1}$. Estos autores obtuvieron los valores de lixiviado de nutrientes más altos para el K, seguido del P que fueron mucho menores y las de N-NH_4^+ y N-NO_3^- que fueron algo menores que las de P; en todos los casos aumentaron el segundo año respecto al primero.

El maíz es un cultivo muy sensible a la acción de los fertilizantes, que se refleja rápidamente en un aumento de producción. El efecto de la fertilización del maíz con gallinazas sobre la producción ha sido estudiado por autores como Carr *et al.*, (1998) que aplicaron gallinaza (GPE) compostada a cultivo de maíz como fertilizante en dosis equivalente a 133 kg N ha^{-1} y obtuvieron una buena respuesta en la producción de este cultivo frente al testigo; estos autores consideraron que dicho incremento fue debido a que la GPE contiene un alto porcentaje de nitrógeno inorgánico. Wood *et al.* (1996) encontraron que con la aplicación de GPE a cultivo de maíz en dosis de 8 t ha^{-1} se obtenían producciones óptimas mientras que a dosis más altas de 18 t ha^{-1} las producciones disminuían y Wang *et al.* (2002) aplicaron en campo pellets de gallinaza compostada a cultivo de maíz dulce y obtuvieron el mayor rendimiento en biomasa seca en este cultivo con la gallinaza frente a pellets de otros subproductos ganaderos (de vacuno y porcino).

La aplicación de gallinazas procedentes de la avicultura intensiva a los cultivos como fertilizante constituye una buena práctica de reciclado y reutilización de estos subproductos con un aprovechamiento de su contenido en nutrientes y materia orgánica pero debe hacerse en dosis adecuadas para el cultivo y evitando la contaminación del medio ambiente.

El objetivo del presente ensayo fue evaluar la aplicación como fertilizante al cultivo de maíz (*Zea mays* L.) de dos tipos de gallinaza: gallinaza de gallina ponedora (GGP) y gallinaza de pollo de engorde (GPE) y determinar la dosis de gallinaza óptima para este cultivo que aúne una producción de biomasa sostenible y minimice el posible riesgo contaminante por lixiviación de nutrientes: N-P-K en las aguas de drenaje. Los parámetros que se controlaron fueron: el peso de biomasa de maíz al final del cultivo y las concentraciones de amonio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-), fósforo (P), y potasio (K) en los lixiviados a lo largo del ciclo de cultivo.

Materiales y métodos

El ensayo se realizó en cultivo de maíz (*Zea mays* L.), en un invernadero localizado en Madrid capital. Se utilizaron macetas de arcilla de 12 L de capacidad y 0,3 m de profundidad y un único drenaje. Se rellenaron con 12 kg de suelo, que previamente se mezcló con las dosis de gallinazas. La maceta llena de suelo y gallinaza alcanzó una altura media de 0,265 m. Las características del suelo utilizado se presentan en la tabla 1. Los tratamientos fertilizantes aplicados al cultivo de maíz fueron: gallinaza de gallina ponedora (GGP) y gallinaza de pollo de engorde (GPE). Las gallinazas utilizadas en el ensayo provenían de granjas situadas en la Comunidad de Castilla y León. Las características de estas gallinazas se presentan en la tabla 2. La gallinaza de GGP se tomó de la cinta y en la de GPE la cama utilizada fue de paja de cebada.

Tabla 1. Características del suelo
Table 1. Soil characteristics

Parámetro	
pH 1:2,5 H ₂ O	8,42
Conductividad eléctrica 1:5 H ₂ O dSm ⁻¹	0,17
Nitrógeno Kjeldahl, %	0,04
Carbono orgánico oxidable, %	0,4
N-NH ₄ ⁺ , mg kg ⁻¹	2,71
N-NO ₃ ⁻ , mg kg ⁻¹	2,27
Textura del suelo	
Arena, %	28
Arcilla, %	35
Limo, %	37
Textura MAPA*	Franco-arcilloso

* MAPA = Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, (1994).

Debido a la variabilidad de estos subproductos de la producción avícola resulta necesario cuando se va a plantear su empleo como fertilizante en campo realizar el análisis de estos materiales para conocer su contenido en nutrientes, humedad, etc., conocidos estos valores se calculará las dosis de gallinazas (GGP y GPE) a aplicar según las necesidades del cultivo.

El ensayo fue un doble factorial con un total de ocho tratamientos, que consistían en la combinación de los dos tipos de gallinaza (GGP y GPE) y cuatro dosis (d0, d1, d1,5 y d2) con cuatro repeticiones en un total de treinta y dos macetas con un diseño completamente aleatorizado. El tratamiento d0, o dosis nula, indica el tratamiento sin aplicación de gallinaza. La dosis d1 se estableció para que cubriera las necesidades de N del maíz. Se consideraron unas extracciones de N por el cultivo de 300 kg N ha⁻¹ (Quemada, 2006) para una producción media de maíz de 10.000 kg ha⁻¹, que considerando una densidad de siembra de 70.000 plantas ha⁻¹ (Guerrero, 1990), supone una cantidad de 4,29 g de nitrógeno por planta de maíz. Para calcular la cantidad de gallinaza que contiene los 4,29 g de N total a aplicar se sumó al N Kjeldahl (que engloba el N orgánico más el N amoniacal) el contenido en N nítrico. Las dosis d1,5 y d2 eran 1,5 veces y 2 veces las aplicadas en d1.

Los pesos de las gallinazas (GGP y GPE) aportados a los 12 kg de suelo fueron en peso seco los que se reflejan en la tabla 3. El factor de humedad para GGP fue 2,87 y para GPE fue 1,7. Las gallinazas se aplicaron al suelo en su estado natural en fresco y los pesos frescos fueron para GGP de: 0 g con la dosis d0, 300 g con la dosis d1, 450 g para la dosis d1,5 y 600 g para la dosis d2. Para GPE fueron: 0 g para d0, 210 g para d1, 315 g para d1,5 y 420 g para d2. Las cantidades de N-P-K, que se aplicaron por maceta (calculadas sobre peso seco de GGP y GPE), según el contenido en N-P-K de estas gallinazas se

Tabla 2. Características de las gallinazas (G). Las concentraciones (% & mg kg⁻¹) se expresan sobre materia seca

Table 2. Poultry manure characteristics. Concentrations (% & mg kg⁻¹) are expressed over dry matter weight

Parámetro	G gallina ponedora	G pollo engorde
pH	7,37	7,87
C.E.*, dSm ⁻¹	7,24	6,12
Humedad, %	65,16	41,18
Sólidos totales, %	24,37	89,4
Sólidos fijos, %	8,21	15,69
Sólidos volátiles, %	16,16	73,7
N Kjeldahl, mg kg ⁻¹	40300	34600
N-NH ₄ ⁺ , mg kg ⁻¹	15255	5867
N-NO ₃ ⁻ , mg kg ⁻¹	551	325
C orgánico oxidable, %	30,43	35,50
P, mg kg ⁻¹	9535	9367
K, mg kg ⁻¹	21743	19630
Ca, mg kg ⁻¹	66150	14595
Mg, mg kg ⁻¹	6959	3666
Na, mg kg ⁻¹	3630	2866

* C.E. = conductividad eléctrica.

Tabla 3. Cantidad de elementos nutritivos: N-P-K, aportados por maceta con los tratamientos: gallinaza de gallina ponedora (GGP) y gallinaza de pollo de engorde (GPE) a las dosis:

d1, d1,5 y d2, y porcentaje (%) de nutrientes perdidos por lixiviado

Table 3. N-P-K nutrients applied by pot with the treatments: poultry manure laying hen (GGP) and poultry manure broiler litter (GPE) at the rates: d1, d1.5 and d2, and nutrients leaching losses percentage (%)

Tratamiento- Dosis	Gallinaza aportada peso seco g maceta ⁻¹	Nitrógeno* mg N maceta ⁻¹	% pérdida nitrógeno	Fósforo mg P maceta ⁻¹	% pérdida fósforo	Potasio mg K maceta ⁻¹	% pérdida potasio
GGP-d1	105	4290	9,35	1001	0,11	2283	0,4
GGP-d1,5	157,5	6435	12,42	1502	0,42	3424	0,64
GGP-d2	210	8580	12,76	2002	0,7	4566	0,76
GPE-d1	123	4290	10,06	1152	0,73	2414	0,98
GPE-d1,5	184,5	6435	10,89	1728	1,17	3622	0,89
GPE-d2	246	8580	10,64	2304	1,09	4829	0,96

* Nitrógeno = suma de: N orgánico + N amoniacal + N nítrico.

presentan en la tabla 3. El equivalente aplicado en peso seco de gallinazas por hectárea para la dosis d1 de referencia fue de 34 t ha⁻¹ para GGP y 40 t ha⁻¹ para GPE.

El maíz (*Zea mays* L. cv Furio) se sembró el mes de abril y se cultivó una planta por maceta. Las macetas tenían un único agujero de drenaje que se tapó con un filtro para evitar pérdidas de suelo y agua. Las macetas se colocaron sobre soportes metálicos. La disposición en el invernadero de las macetas sobre las mesas fue al azar y con una distancia suficiente para que no se interceptaran entre ellas. Las cinco veces a lo largo del cultivo que se procedió a provocar los lixiviados se recogieron estos sobre un frasco graduado de 500 mL de capacidad.

Se provocaron cinco lixiviados a lo largo del cultivo del maíz y en diferentes estados de desarrollo de la planta. El primero (1º) cuando la planta tenía entre dos y tres hojas, al mes de la siembra que se consideró día 0; el segundo (2º) se practicó cuando la planta tenía entre tres y seis hojas: a los 18 días; el tercero (3º) se obtuvo entre la antesis y la plena floración a los 35 días; el cuarto (4º) se practicó cuando el grano estuvo en estado acuoso-lechoso a los 53 días; el quinto (5º) y último lixiviado se realizó en el estado de madurez fisiológica a los 81 días.

Se calculó la capacidad de campo (CC) del suelo y se obtuvo que para los 12 kg eran 3000 mL. Mientras duró el ensayo se mantuvo cada maceta al 60% de su CC, según las necesidades del cultivo. Para provocar cada uno de los lixiviados se regó la maceta con un volumen de agua superior a 2L y se recogieron de 200 a 500 mL de lixiviado. Para el cálculo posterior de la masa de los nutrientes lixiviados: NH₄⁺, NO₃⁻, P y K, se tuvo en cuenta el volumen de drenaje recogido por maceta, en cada uno de los cinco lixiviados (Miralles de Imperial *et al.*, 2010). En los lixiviados se determinaron las concentraciones de NH₄⁺,

NO₃⁻, P y K. El NH₄⁺ y NO₃⁻ se analizaron por el método de Bremner y Edwards (1965), el fósforo se determinó por fotometría de emisión y el potasio por fotometría de llama (Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, 1994).

La recolección del maíz se efectuó a primeros de agosto, a los 125 días de la siembra, cuando la planta alcanzó su estado de madurez, con un porcentaje medio de humedad en grano del 18%.

Sobre el material vegetal de cada planta de maíz se separaron la caña (C), las hojas (H), las espigas (E), el zuro (Z) y el grano (G). Después se procedió al secado en estufa a 70° C de todos estos materiales. El peso seco de la biomasa aérea por planta y maceta se obtuvo por la suma de: C+ H+ E+ Z+ G.

En el estudio estadístico de los resultados de los nutrientes lixiviados se tomaron como variables dependientes: las cantidades acumuladas de NH₄⁺, NO₃⁻, P y K lixiviados, y como variable independiente los días. El objetivo del análisis estadístico fue modelizar los nutrientes lixiviados y estudiar el cambio de los modelos para los dos tratamientos: GGP y GPE y las cuatro dosis (d0, d1, d1,5 y d2) a lo largo de los cuatro meses de cultivo y comprobar si estos cambios eran significativamente diferentes.

Para el análisis estadístico de los resultados de este ensayo se tuvo en cuenta que los cinco lixiviados se realizaron en la misma maceta por lo que tuvimos un diseño de medidas repetidas y como nuestros datos se ajustaban a un modelo logístico se eligió la metodología del modelo mixto no lineal para estimar los modelos y la comparación entre ellos. La estrategia de esta modelización fue comenzar con el modelo saturado que incluye los efectos principales (tratamiento, dosis) y la interacción, en cada uno de los tres parámetros de la logística: b₁, b₂ y b₃, también se comenzó con dos factores aleatorios

(u, v) que se sumaron a los parámetros b_1 y b_2 , en todos los casos v no dio significativo por lo que no se reflejó en el modelo.

El modelo general fue:

$$Y_{ijk} = [b_{1ijk}/1 + \exp(-(\text{dias}-b_{2ij})/b_{3ij})] + e_{ijk}$$

$$b_{1ijk} = b_{1ij} + u_k$$

$$u_k \sim N(0, \sigma_u^2)$$

$$e_{ijk} \sim N(0, \sigma_e^2)$$

Los efectos fijos fueron: b_{1ijk} , b_{2ij} , b_{3ij} . Donde: b_{1ijk} es la asíntota y representa la cantidad de lixiviado acumulado, b_{2ij} está relacionado con la velocidad de lixiviación, b_{3ij} es el parámetro relacionado con la forma de la curva, la i son los tratamientos: GGP y GPE, la j son las dosis d1, d1,5 y d2, la k es cada una de las treinta y dos macetas. Al parámetro b_{1ij} , le llamaremos b_1 del tratamiento i y la dosis j, al b_{2ij} (b_2) y al b_{3ij} (b_3).

El análisis estadístico se realizó con el procedure nlmixed del SAS V 9.3.

Para el análisis estadístico de los resultados de la producción de biomasa de maíz se utilizó el programa Statgraphics XVI (Centurión). Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) factorial: tipo de tratamiento (gallinaza de gallina ponedora y gallinaza de pollo engorde) y dosis.

Resultados y discusión

En las figuras 1, 2, 3 y 4 se presentan las gráficas de los modelos estimados para las cuatro variables estudiadas (NH_4^+ , NO_3^- , P y K) y las dosis d1, d1,5 y d2.

Los promedios de volúmenes de drenaje obtenidos fueron: 343 mL para el primer (1º) lixiviado, 415 mL para el 2º, 282 mL para el 3º, 364 mL para el 4º y 394 mL para el 5º. Podemos observar que los volúmenes fueron au-

mentando en los primeros estadios de crecimiento cuando la planta de maíz tenía entre dos a seis hojas (entre el 1º y 2º lixiviado) y fue en el 2º cuando se alcanzó el máximo volumen de drenaje. El momento de máxima retención hídrica con un menor volumen de drenaje sucedió en el 3º lixiviado (entre la antesis y la plena floración) que coincidió con el de máximas necesidades nutritivas por parte de la planta. Betrán (2010) considera que en el cultivo de maíz la extracción de nutrientes comienza tras la nascencia y la extracción más fuerte de estos se produce en el estado de ocho hojas en la que se inicia el crecimiento vegetativo más intenso, en torno al 47% de todo el N que extrae la planta lo hace entre los quince días anteriores y los quince posteriores a la floración.

En los modelos estimados para masa de N-NH_4^+ acumulado (figura 1) de los lixiviados hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los modelos de los dos tratamientos GGP y GPE en las tres dosis (d1, d1,5 y d2) además de en la forma del modelo reflejado en los parámetros b_2 y b_3 también en la cantidad final de lixiviado acumulado reflejado en el parámetro b_1 . Con el tratamiento GGP el lixiviado de N-NH_4^+ acumulado obtenido fue mayor (figura 1).

Para N-NO_3^- acumulado (figura 2) de los lixiviados, hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los modelos de los dos tratamientos GGP y GPE en la forma del modelo en el parámetro b_2 en las dosis d1 y d2 y en b_3 en la d1,5. También hubo diferencias significativas en la cantidad final de N-NO_3^- acumulado, reflejado en el parámetro b_1 , entre los tratamientos GGP y GPE para las tres dosis. Con el tratamiento GGP el lixiviado de N-NO_3^- acumulado obtenido fue mayor que con GPE como se puede apreciar en la figura 2.

El porcentaje de N inorgánico (suma de N-NH_4^+ y N-NO_3^-) de las gallinazas (GGP y GPE) utilizadas en el ensayo respecto al N Kjeld-

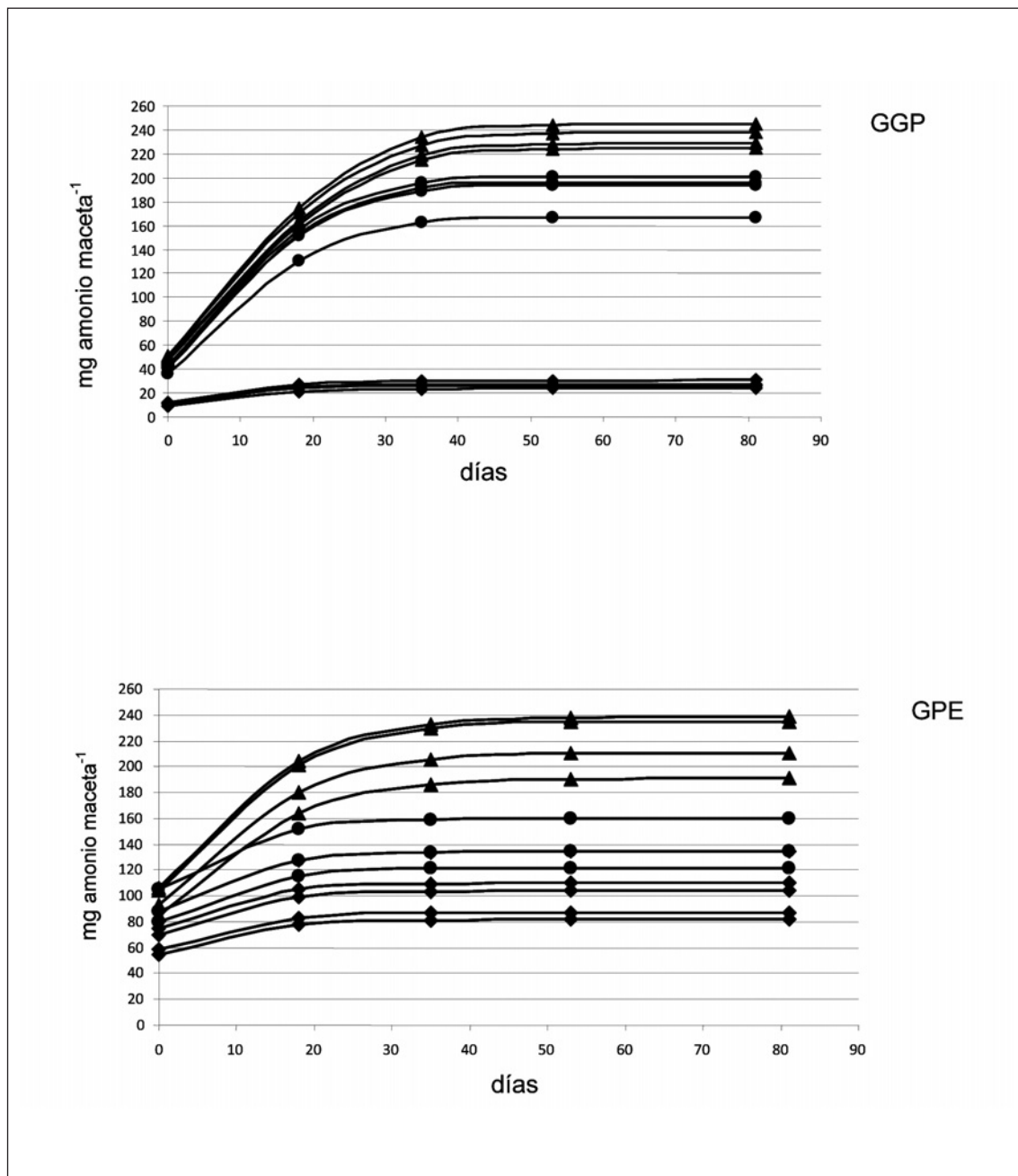


Figura 1. Masa de amonio (N-NH_4^+) lixiviado acumulado para la gallinaza de gallina ponedora (GGP) y gallinaza de pollo de engorde (GPE) para las dosis: d1 (◆), d1.5 (●) y d2 (▲) con los modelos logísticos ajustados.

Figure 1. Mass of ammonium ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) accumulated leaching according to: laying hen (GGP) and broiler litter (GPE), for the rates: d1 (◆), d1.5 (●) and d2 (▲), with the adjusted logistic models.

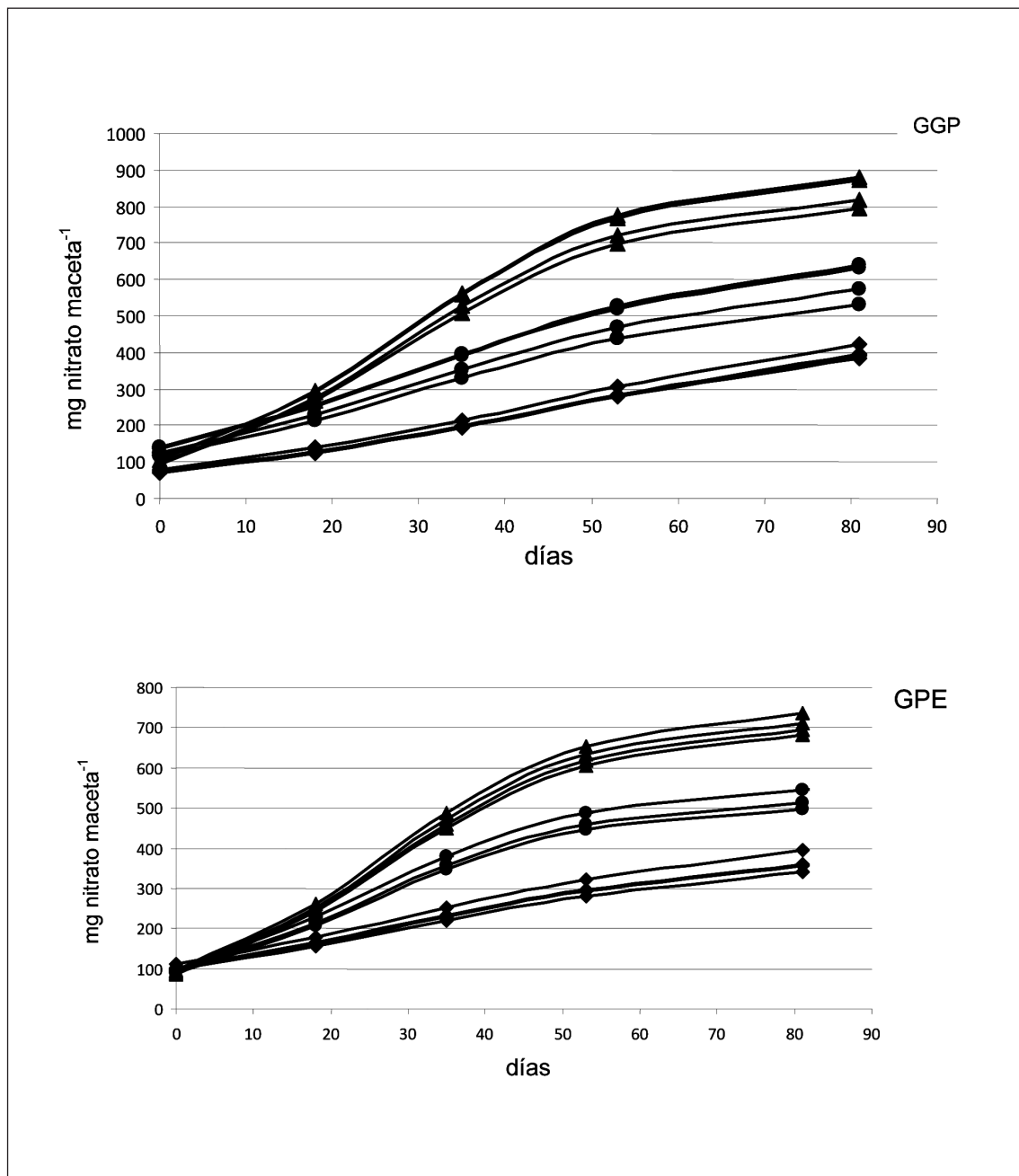


Figura 2. Masa de nitrato (N-NO₃⁻) lixiviada acumulada para gallinaza de gallina ponedora (GGP) y gallinaza de pollo de engorde (GPE) para las dosis: d1 (◆), d1.5 (●) y d2 (▲) con los modelos logísticos ajustados.

Figure 2. Mass of nitrate (N-NO₃⁻) accumulated leaching according to: laying hen (GGP) and broiler litter (GPE), for the rates: d1 (◆), d1.5 (●) and d2 (▲), with the adjusted logistic models.

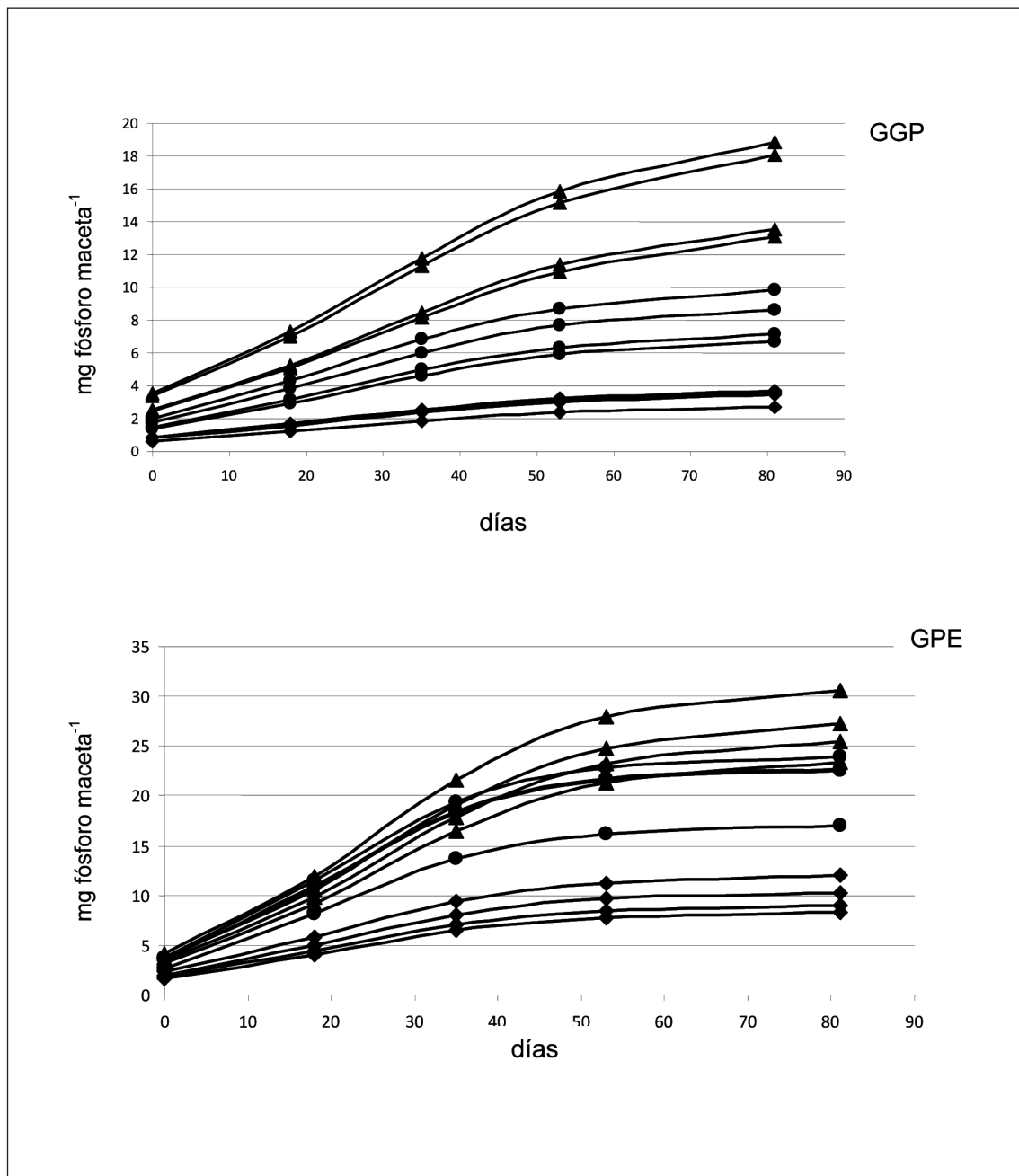


Figura 3. Masa de fósforo lixiviada acumulada para gallinaza de gallina ponedora (GGP) y gallinaza de pollo de engorde (GPE) para las dosis: d1 (◆), d1,5 (●) y d2 (▲) con los modelos logísticos ajustados.

Figure 3. Mass of phosphorus accumulated leaching according to: laying hen (GGP) and broiler litter (GPE), for the rates: d1 (◆), d1.5 (●) and d2 (▲), with the adjusted logistic models.

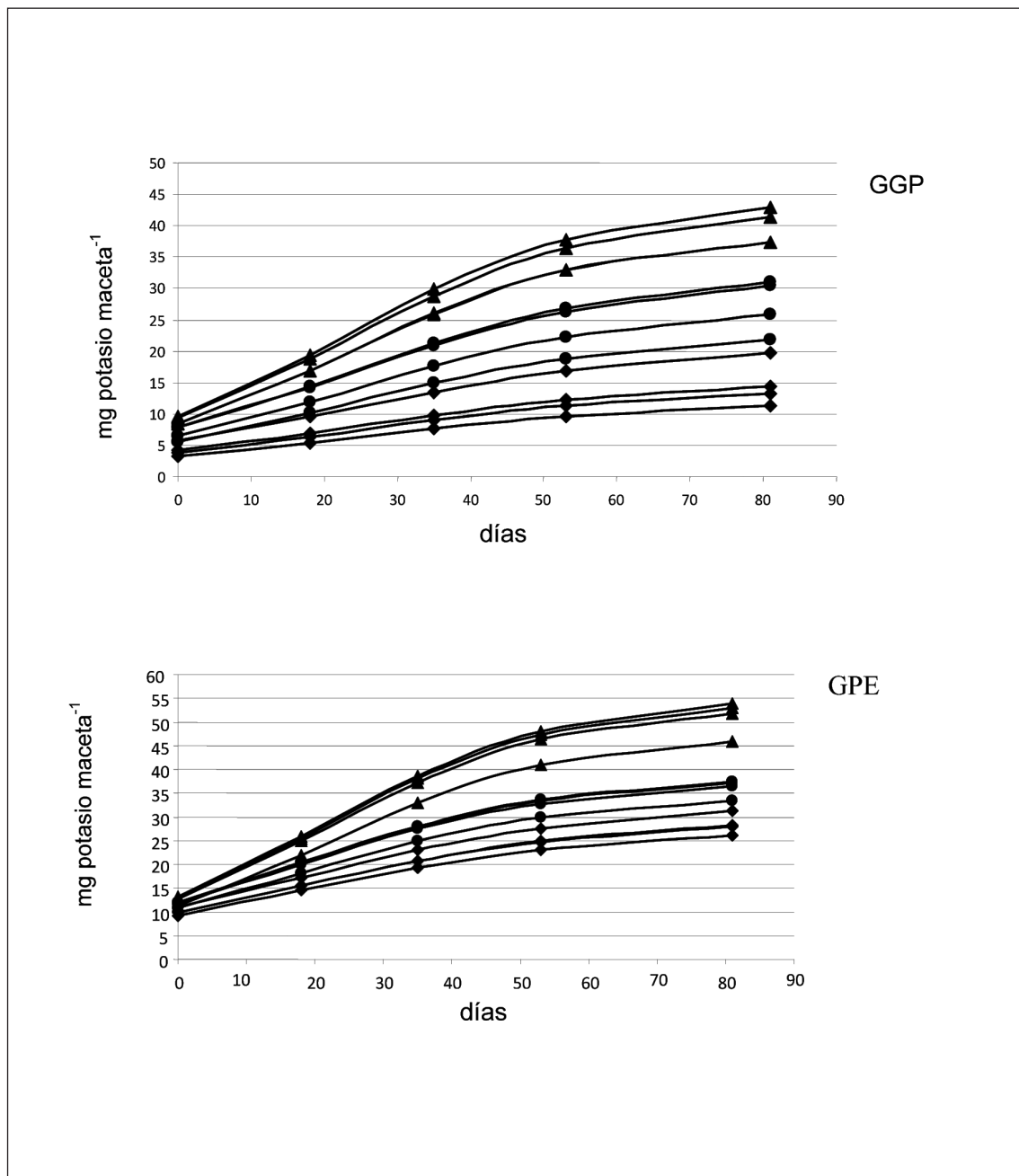


Figura 4. Masa de potasio lixiviado acumulado para gallinaza de gallina ponedora (GGP) y gallinaza de pollo de engorde (GPE) para las dosis: d1 (◆), d1,5 (●) y d2 (▲) con los modelos logísticos ajustados.

Figure 4. Mass of potassium accumulated leaching according to: laying hen (GGP) and broiler litter (GPE), for the rates: d1 (◆), d1.5 (●) and d2 (▲), with the adjusted logistic models.

dahl (tabla 2) fueron de 39% para GGP y 18% para GPE, el porcentaje de N restante (61% para GGP y 82% para GPE) de estas gallinazas se irá mineralizando al aplicarlas al suelo a lo largo del desarrollo del cultivo. En estas gallinazas el N en forma inorgánica estará disponible para la planta y por efecto del riego o lluvia podría ser lavado y lixiviado a capas más profundas. El N mineral disponible se podría perder fácilmente si la época de aplicación de las gallinazas al cultivo no coincidiera con el periodo de absorción de N por la planta (Abaigar *et al.* 2010).

En este ensayo se produjo un mayor lixiviado de N como NH_4^+ en los primeros estadios de desarrollo del cultivo, del 1º (día 0) al 3º (día 35) lixiviado, que se realizaron cuando la planta tenía entre dos a tres hojas para el 1º y entre la antesis y la plena floración para el 3º; el lixiviado acumulado se estabilizó entre los estadios de grano en estado acuoso-lechoso y la madurez fisiológica. El NO_3^- lixiviado fue aumentando del 1º al 5º lixiviado y el mayor aumento se produjo del 3º al 5º lixiviado, periodo que coincidió con una estabilización del NH_4^+ lixiviado, debido posiblemente a la mineralización del N amoniacal a nitrato.

Martín *et al.*, (2009) en ensayos de mineralización de N con gallinazas de gallina ponedora (GGP) y de pollo de engorde (GPE) en un suelo básico (B), como el utilizado en este ensayo, obtuvieron mayores cantidades de N mineralizado total (suma del N amoniacal y del N nítrico) con GGP que con GPE. Si observamos las figuras 1 y 2 los lixiviados acumulados de N-NH_4^+ y de N-NO_3^- en este ensayo para la dosis d1,5 y d2 fueron mayores para GGP. Martín *et al.*, (2009) realizaron una incubación en cámara a 25° C, para fijar el porcentaje (%) del N mineralizado al aplicar a un suelo básico gallinazas de GGP y GPE en dosis de 8 y 20 t ha⁻¹. El contenido de N inorgánico (N-NH_4^+ y N-NO_3^-) en el suelo lo valoraron al inicio y durante la incubación con controles a los 0, 7, 14, 21 y 28 días tras la

aplicación de GGP y GPE. Estos autores observaron que en los primeros días tras la aplicación al suelo de GGP se liberaba una gran cantidad de nitrógeno inorgánico. Los % de N mineralizado que obtuvieron durante esta incubación fueron para GGP del 62% y 73% y para GPE del 24% y 22 % para las dosis 8 y 20 t ha⁻¹ respectivamente. La GPE se mineralizó mas lentamente debido a la carga orgánica de la paja que llevaba en su composición que ralentizó la mineralización de N. Según estos autores el riesgo de posible contaminación por lavado de nitratos fue mayor con GGP que con GPE y en los primeros días tras su aplicación. Estos resultados están de acuerdo con los datos del presente ensayo, donde se ha observado una mayor masa de N-NH_4^+ y de N-NO_3^- con GGP que con GPE y un mayor riesgo de contaminación por lixiviado de amonio en los primeros días tras la aplicación de las gallinazas, en particular, en los 35 primeros días. Mientras que el riesgo de contaminación por nitrato se mantuvo hasta el final del cultivo lo que nos indica que habría que seguir evaluando los efectos en años posteriores a su aplicación, dado que el N orgánico seguirá mineralizándose en el segundo y tercer año y puede seguir habiendo riesgo de contaminación por lixiviado de nitratos.

Agele *et al.* (2004) aplicaron GPE en dosis de 10 t ha⁻¹ a cultivo de *Amaranthus cruentus* y Pirani *et al.* (2007) aplicaron durante dos años a cultivo de *Festuca arundinacea* GPE en dosis de: 0, 5,6 y 11,2 t ha⁻¹ en ambos estudios no se encontraron riesgos importantes de contaminación por nitratos cuando se aplicaron las dosis referidas de GPE. Wood *et al.* (1996) en estudios de aplicación de gallinaza de pollo de engorde (GPE) como fertilizante bajo cultivo de maíz en dosis de 9 y 18 t ha⁻¹ constataron los mayores incrementos en el contenido de nitratos de los lixiviados con la dosis de 18 t ha⁻¹. Wang *et al.* (2002) aplicaron gallinazas en pellets a cultivo de maíz dulce en dosis 0 (testigo, sin fertilización) y dosis 1 equivalente a 200 kg de N ha⁻¹ (en el

presente ensayo la dosis 1 equivalente aplicada fue de 300 kg de N ha⁻¹) y lo compararon con otros subproductos ganaderos (de vacuno y porcino) aplicados también en pellets en las mismas dosis y encontraron que el pellet de gallinaza liberó mayor cantidad de nitrógeno que el vacuno y porcino; la liberación del nitrógeno de estos pellets se produjo en los primeros días tras su aplicación; lo que concuerda con los resultados del presente ensayo donde también observamos una mayor lixiviado de N en los primeros días tras la aplicación de la gallinaza.

Las gallinazas también son ricas en otros nutrientes como fósforo y potasio (Abaigar *et al.*, 2010). En este estudio se observaron diferencias significativas en los modelos estimados para P acumulado (figura 3) de los lixiviados, entre los tratamientos GGP y GPE en las tres dosis (d1, d1,5 y d2), tanto en la forma del modelo, reflejado en los parámetros b_2 y b_3 , como también en la cantidad final de P lixiviado acumulado reflejado en el valor del parámetro b_1 . La cantidad de P lixiviado fue mayor para el tratamiento con GPE que para el tratamiento con GGP como se puede observar en la figura 3. Hodgkinson *et al.* (2002) no encontraron cantidades significativas de P en el drenaje cuando se aplicó gallinaza de pollo de engorde, pero Pirani *et al.* (2007) si los encontraron con la aplicación de GPE en ensayos de larga duración, este P lixiviado advertían estos autores podría afectar a la calidad de las aguas superficiales y contribuir a que se produjeran fenómenos de eutrofización de las mismas. Schroeder *et al.* (2004) también observaron mayores pérdidas de P con la aplicación de gallinazas que se incrementaban tras un episodio de lluvias cercano a la aplicación de estas. En este ensayo los valores obtenidos del lixiviado acumulado de P fueron mas altos con GPE que con GGP y en ambas gallinazas fueron mas altos con las dosis mayores, resultados que coinciden con los reflejados anteriormente por Pirani *et al.* (2007) y Schroeder *et al.* (2004).

Además se encontraron diferencias significativas en los modelos estimados para K acumulado (figura 4) de los lixiviados, entre los tratamientos GGP y GPE. Se encontraron diferencias en el parámetro b_2 (forma de la curva) para las dosis d1 y d1,5 y en el parámetro b_1 (la cantidad final de K lixiviado) para las tres dosis. Con el tratamiento GPE el lixiviado de K acumulado obtenido fue mayor que con GGP como se puede observar en la figura 4. Yavinder *et al.* (2005) en estudios sobre lixiviado de potasio por aplicación de gallinazas observaron contenidos considerables de K en los lixiviados obtenidos de los suelos tratados con gallinazas aunque este contenido en K fue menor para el suelo arcilloso frente al arenoso, en este ensayo con un suelo arcilloso el K lixiviado acumulado fue mayor para GPE frente a GGP.

El ajuste de nutrientes en las dietas de las aves es una de las estrategias que se están promoviendo estos últimos años para reducir el contenido de nutrientes (no aprovechados) en las deyecciones animales y con ello minimizar la posible contaminación por N-P-K en la aplicación de gallinazas como fertilizante en cultivos. Para lograr este objetivo se está reduciendo en la medida de lo posible el contenido en proteína bruta del pienso de estas aves y se utilizan fuentes de fósforo más digestibles y fitasas para aumentar la asimilación del fósforo contenido en los nutrientes vegetales (Smith *et al.*, 2004, Vadas *et al.*, 2004, Piñeiro *et al.*, 2008).

Con el fin de completar los resultados de este ensayo de lixiviado de nutrientes (N-P-K) por aplicación de gallinazas (GGP y GPE) bajo cultivo de maíz se calculó el porcentaje (%) de pérdida de estos nutrientes por lixiviación (Tabla 3). Este cálculo se hizo sobre las cantidades de N-P-K adicionadas inicialmente con GGP y GPE en las dosis d1, d1,5 y d2 (descontada la d0). Las mayores pérdidas por lixiviación se produjeron para el nitrógeno (N): entre el 9,35% y 12,76% con GGP y en-

tre 10,06% y 10,89% para GPE. Martin *et al.* (2009) en ensayos de mineralización de N con GGP y GPE obtuvieron mayor N mineralizado con GGP que con GPE, esta mayor mineralización con GGP explicaría los mayores % de N lixiviado para GGP frente a GPE. El porcentaje de pérdidas de fósforo (calculado para este ensayo) varió entre el 0,11 y 0,7% para GGP y 0,73 a 1,17% para GPE. Para el potasio fue entre el 0,4 y 0,76% para GGP y entre 0,89 a 0,98% para GPE. Las cantidades de P y K aportadas para las distintas dosis con GPE fueron un poco más altas que las aportadas con GGP y sin embargo las pérdidas de P y K fueron mayores con GPE este resultado pudo ser debido a una mayor solubilidad del P y K presentes en la GPE.

En la figura 5 se presenta la gráfica del efecto del tipo de gallinaza (GGP y GPE) y dosis (d0, d1, d1,5 y d2) sobre la producción de biomasa de maíz (suma de: caña, hojas, grano, zuros y espigas). Se obtuvieron diferencias significativas entre las dosis ($p=0,003$) pero no entre tipos de gallinaza y tampoco hubo una inter-

acción significativa gallinaza*dosis. Este ensayo reflejó un aumento de la producción de biomasa por efecto de la fertilización del maíz con las gallinazas GGP y GPE, en comparación con la dosis d0 (sin fertilización). Para GPE la mayor producción de biomasa en g maceta⁻¹ se obtuvo con la dosis d1, y con GGP con las dosis d1 y d1,5 la producción obtenida fue similar, como podemos observar en la figura 5.

Estos incrementos de producción en maíz por aplicación de gallinazas también fueron observados por autores como Wood *et al.* (1996) que aplicaron GPE en dosis de 9 y 18 t ha⁻¹ a cultivo de maíz y obtuvieron los mejores resultados con la dosis 9 t ha⁻¹ con producciones de maíz mas altas y un menor lixiviado de nutrientes; estos autores consideraron esta dosis como óptima al aunar buena producción y menor contaminación por nutrientes lixiviados. Carr *et al.* (1998) aplicaron GPE compostada a cultivo de maíz en dosis equivalente a 133 kg N ha⁻¹ y obtuvieron un aumento significativo del rendimiento en grano frente al testigo sin fertilización. En el ensayo

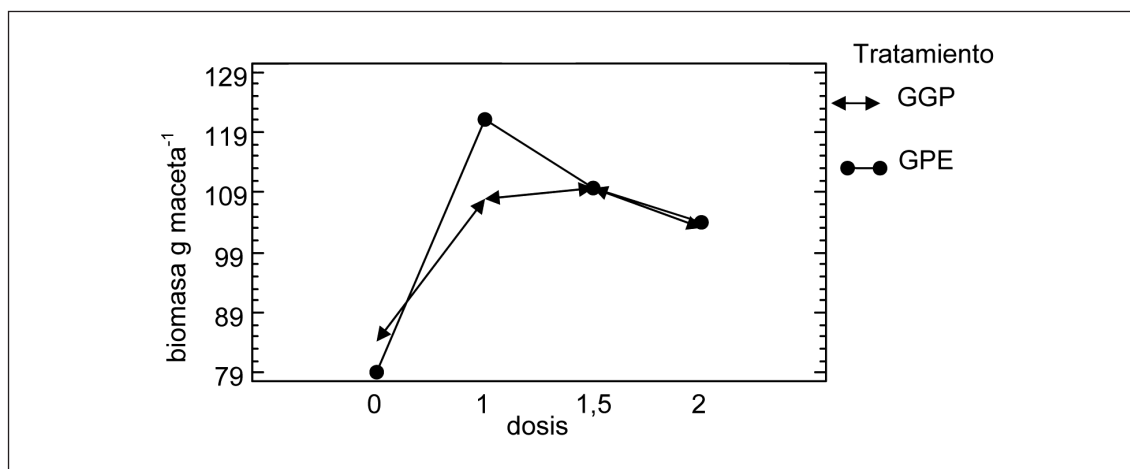


Figura 5. Producción de biomasa (g maceta⁻¹) de maíz para los dos tipos de gallinaza [gallinaza de gallina ponedora (GGP) ▼ y gallinaza de pollo de engorde (GPE) ●] y las distintas dosis (d0, d1, d1,5 y d2).

Figure 5. Biomass production corn (g pot⁻¹) according to the two types of poultry manure [laying hen (GGP) ▼ and broiler litter (GPE) ●], and the rates (d0, d1, d1.5 and d2).

que presentamos se aplicó GPE en dosis equivalente 300 kg N ha^{-1} (d1) y se obtuvo con esta dosis la mayor producción de biomasa frente a las menores producciones en d0, d1,5 y d2. Cooperband *et al.* (2002) aplicaron a un cultivo de maíz GPE fresca en dosis de $8,9 \text{ t ha}^{-1}$ y GPE compostada durante varios meses [quince meses (15), cuatro meses (4) y un (1) mes] en dosis de $68,7 \text{ t ha}^{-1}$ (15) de 59 t ha^{-1} (4) y de 64 t ha^{-1} (1), con el fin de determinar su efecto en el rendimiento del cultivo. Estos autores obtuvieron en las parcelas tratadas con GPE fresca un aumento del 30% en peso de biomasa de maíz. El rendimiento en grano fue 7183 kg ha^{-1} para GPE fresca, y 5367 kg ha^{-1} , 5053 kg ha^{-1} , y 5578 kg ha^{-1} para las GPE compostadas de 15, de 4 y de 1 mes respectivamente superiores al testigo sin abonar donde se obtuvieron 4063 kg ha^{-1} . En este ensayo la mayor producción de biomasa se obtuvo con GPE en dosis d1 y la menor en el testigo d0.

Conclusiones

Para los dos tipos de gallinaza analizadas en este estudio (GGP y GPE) la dosis menos contaminante respecto al lixiviado de N-NH_4^+ , N-NO_3^- , fósforo y potasio fue la dosis d1 (equivalente a 300 kg N ha^{-1}), mientras que la dosis d2 (doble de la d1) fue la más contaminante. En el caso del nitrógeno el tratamiento GGP fue más contaminante ya que el N en GGP se encuentra en formas más fácilmente mineralizables que en GPE, pero sucedió al contrario para fósforo y potasio, en el que el GPE tuvo una mayor masa lavada que el GGP.

Este estudio reflejó un mayor lixiviado de nitrógeno como N-NH_4^+ en los primeros estadios de desarrollo del cultivo, entre el primer y tercer lixiviado, y la posibilidad de que el fósforo en ciertas condiciones pueda encon-

trarse en formas solubles susceptibles de moverse en el suelo en profundidad y aparecer en los lixiviados.

La mejor respuesta del maíz en este ensayo con gallinazas de gallina ponedora y pollo de engorde en cuanto a la producción de biomasa se obtuvo para la dosis d1 de pollo de engorde y para gallina ponedora fueron similares con dosis d1 y dosis d1,5.

Los valores obtenidos sobre lixiviado de nutrientes en este ensayo son para estas condiciones de cultivo, en este volumen de suelo, esta profundidad de maceta y con la aplicación de cinco riegos intensos para provocar lixiviados, pero manteniendo durante el resto del tiempo el nivel de riego necesario para el adecuado crecimiento del cultivo. El estudio de los lixiviados se realizó durante el tiempo de duración del cultivo.

En general, después de analizar los resultados de este ensayo podemos considerar como dosis óptima para ambas gallinazas, la dosis d1, equivalente a una cantidad de N de 300 kg ha^{-1} , que aúna una producción sostenible de biomasa de maíz y el mínimo de contaminación por lixiviado de nutrientes. Para evitar problemas por lixiviación de nutrientes habrá que moderar en los primeros estadios de desarrollo de la planta el riego para minimizar el riesgo de lixiviación de nutrientes.

Agradecimientos

Este estudio se realizó gracias a los proyectos RTA 2005-00120-CO2-01 y RTA 2009-00074-00-00 financiados por el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA). Los autores agradecen a Jesús García, María Isabel González y Ángela García su colaboración en las tareas de invernadero y laboratorio.

Bibliografía

- Abaigar A, Cordovil L, Aguilar M, 2010. Gestión de estiércol de gallinas ponedoras. Jornadas Profesionales de Avicultura 2010. www.itgganadero.com
- Agele SO, Adeosun S, Oluwadere D, 2004. A lysimeter study of nutrient release, leaching losses and growth response of amaranthus resulting from application of inorganic and organic nitrogen sources. *Food Agriculture & Environment*, 2 (2): 301-306.
- Betrán J, 2010. Abonado de los cereales de primavera: maíz. En: Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid. 259 p.
- Borja E, 2010. Alimentación de broilers. Aspectos prácticos (I). *Selecciones Avícolas*, septiembre: 7-15.
- BOE, 1996. Real Decreto 261/1996, de 16 de febrero, sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias. *Boletín Oficial del Estado*, 61: 9734-9737.
- BOE, 1998. Ley 10/1998, de 22 de abril, de Residuos. *Boletín Oficial del Estado*, 96: 13372-13384.
- BOE, 2002. Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación. *Boletín Oficial del Estado*, 157: 23910- 23927.
- Bremner JM, Edwards AP, 1965. Determination and isotope- ratio analysis of different forms of nitrogen in soils: I. Apparatus and procedure for distillation and determination of ammonium. *Soil Science Society of America Proceedings*, 504-507.
- Carr LE, Brodie JC, Bouwkamp JC, Ku CSM, 1998. Poultry residual composts. Materials balance and crop response. *Compost Science & Utilization*, 6(2): 36-43.
- Cooperband L, Bollero G, Coale F, 2002. Effect of poultry litter and compost on soil nitrogen and phosphorus availability and corn production. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 62 (2): 185-194.
- De Blas C, González G, 1991. Nutrición y alimentación de gallinas ponedoras. Edita: MAPA, Aedos y Mundi-Prensa. 263 p.
- García MC, Pérez MP, León C, Miralles de Imperial R, Martín JV, Delgado MM, 2009. Tratamientos de lixiviados de gallinaza. *Tecnoambiente*, 199: 13-16.
- Guerrero A, 1990. Cultivos herbáceos extensivos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 751 p.
- Hodgkinson RA, Chambers BJ, Withers PJA, Cross R, 2002. Phosphorus losses to surface waters following organic manure applications to a drained clay soil. *Agricultural Water Management*, 57: 155-173.
- Martín JV, Miralles de Imperial R, Delgado MM, 2009. Mineralización del nitrógeno en diferentes estiércoles de granjas avícolas. *Vida Rural*, 294: 54-58.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1994. Métodos Oficiales de Análisis. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. Tomo III. 662 p.
- Miralles de Imperial R, Martín JV, Calvo R, Delgado MM, 2010. Estudio de nutrientes lixiviados bajo cultivo de alstroemeria por aporte de estiércol de porcino en un suelo arenoso. *ITEA*, 106 (1): 53-65.
- Piñeiro C, Herrero M, Giraldez R, 2008. Decálogo de buenas prácticas medioambientales de la ganadería intensiva. Edita: Diputación de Segovia. Consorcio Agropecuario Provincial de Segovia. 17 p.
- Pirani AL, Brye KR, Haggard BE, Daniel TC, Mattice JD, 2007. Broiler litter rate effects on nutrient leaching from soil under pasture vegetation in the ozark highlands. *Soil Science*, 172 (12): 1001-1018.
- Quemada M, 2006. Balance de nitrógeno en sistemas de cultivo de cereal de invierno y de maíz en varias regiones españolas. Monografías INIA: Serie Agrícola. N° 22. Edita Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. 143 p.
- Smith DR, Moore PA, Miles DM, Haggard BE, Daniel TC, 2004. Decreasing phosphorus runoff lo-

- ses from land applied poultry litter with dietary modification and alum addition. *Journal Environmental Quality* 33: 2210-2216.
- Schroeder PD, Radcliffe DE, Cabrera ML, 2004. Rain-fall timing and poultry litter application rate effects on phosphorus loss in surface runoff. *Journal Environmental Quality*, 33: 2201-2209.
- Vadas PA, Meisinger LJ, Sikora JP, Mc Murtry JP, Sefton AE, 2004. Effect of poultry diet on phosphorus in runoff from soils amended with poultry manure and compost. *Journal Environmental Quality*, 33 (5):1845-1854.
- Wang Y, Yamamoto K, Yakushido K, 2002. Changes in nitrate N content in different soil layers after the application of livestock waste compost pellets in a sweet corn field. *Soil Science and Plant Nutrition*. 48 (2): 165-170.
- Wood BE, Wood CW, Yoo KS, Yoon KS, Delaney DP, 1996. Nutrient accumulation and nitrate leaching under broiler litter amended corn fields. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 27 (15-17): 2875-2894.
- Yavinder-Singh, Pannu RPS, Bijay-Singh, Khind CS, 2005. Leaching of potassium from organic manures crop residues and inorganic fertilizer in two soils under flooded and upland moisture regimes. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, 53 (2): 201-213.

(Aceptado para publicación el 22 de marzo de 2012)

**PREMIOS DE PRENSA AGRARIA 2012
DE LA
ASOCIACION INTERPROFESIONAL
PARA EL DESARROLLO AGRARIO**

La Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA) acordó en Asamblea General celebrada en mayo de 1983, instaurar un premio anual de Prensa Agraria, con el objetivo de hacer destacar aquel artículo de los publicados en ITEA que reúna las mejores características técnicas, científicas y de valor divulgativo, y que refleje a juicio del jurado, el espíritu fundacional de AIDA de hacer de transmisor de conocimientos hacia el profesional, técnico o empresario agrario. Se concederá un premio, pudiendo quedar desierto.

Los premios se regirán de acuerdo a las siguientes

BASES

1. Podrán concursar todos los artículos que versen sobre cualquier tema técnico-económico-agrario.
2. Los artículos que podrán acceder al premio serán todos aquellos que se publiquen en ITEA en el año 2012. Consecuentemente, los originales deberán ser enviados de acuerdo con las normas de ITEA y aprobados por su Comité de Redacción.
3. El jurado estará constituido por las siguientes personas:
 - a) Presidente de AIDA, que presidirá el jurado.
 - b) Director de la revista ITEA, que actuará de Secretario.
 - c) Director Gerente del CITA (Gobierno de Aragón).
 - d) Director del Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza.
 - e) Director de la Estación Experimental de Aula Dei.
 - f) Director del Instituto Pirenaico de Ecología.
4. El premio será anual y tendrá una dotación económica.
5. Las deliberaciones del jurado serán secretas, y su fallo inapelable.
6. El fallo del jurado se dará a conocer en la revista ITEA, y la entrega del premio se realizará con motivo de la celebración de las Jornadas de Estudio de AIDA.



CIHEAM

CENTRO INTERNACIONAL DE ALTOS ESTUDIOS AGRONÓMICOS MEDITERRÁNEOS
INSTITUTO AGRONÓMICO MEDITERRÁNEO DE ZARAGOZA

CIHEAM/IAMZ - Cursos 2011-12-13

	CURSOS	FECHAS	LUGAR	ORGANIZACIÓN
PRODUCCIÓN VEGETAL	* OLIVICULTURA Y ELAIOTECNIA	26 Sep. 11/31 Mayo 12	Córdoba	UCO/JA/CSIC/COI/ INIA/IAMZ
	USO DE LA TELEDETECCIÓN PARA LA GESTIÓN DEL RIEGO	21-26 Nov. 11	Zaragoza	IAMZ/UE-Proyecto Telerieg
	PRODUCCIÓN DE MEDICAMENTOS A PARTIR DE PLANTAS	16-21 Ene. 12	Zaragoza	IAMZ
	USO DE LOS MARCADORES MOLECULARES EN MEJORA VEGETAL	20 Feb./2 Mar. 12	Barcelona	IAMZ/IRTA/CRAG
	GESTIÓN DE MALAS HIERBAS EN LA AGRICULTURA ACTUAL	16-21 Abr. 12	Zaragoza	IAMZ/EWRS/SEMh/ IWSS
	* MEJORA GENÉTICA VEGETAL	1 Oct. 12/7 Jun. 13	Zaragoza	IAMZ/UdL
PRODUCCIÓN ANIMAL	* NUTRICIÓN ANIMAL	3 Oct. 11/8 Jun. 12	Zaragoza	IAMZ/UZ/FEDNA/ UPM
	* MEJORA GENÉTICA ANIMAL Y BIOTECNOLOGÍA DE LA REPRODUCCIÓN	3 Oct. 11/29 Jun. 12	Valencia/ Barcelona	UPV/UAB/IAMZ/ IVIA/INIA/IRTA/ AGROALIMED
	CALIDAD DE LA CARNE Y DE PRODUCTOS CÁRNICOS EN RUMIANTES	17-21 Sep. 12	Zaragoza	IAMZ
	NUEVOS DESARROLLOS EN METODOLOGÍAS DE DIAGNÓSTICO EN SANIDAD ANIMAL	14-18 Ene. 13	Zaragoza	IAMZ/OIE/FAO
	EVALUACIÓN MEDIOAMBIENTAL DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN GANADERA	11-15 Mar. 13	Zaragoza	IAMZ/EAAP
	SEGURIDAD DE LOS PRODUCTOS DE ORIGEN ANIMAL (CARNE Y HUEVOS) DE LA REPRODUCCIÓN	6-10 Mayo 13 Barcelona	Zaragoza IVIA/INIA/IRTA/	IAMZ/ AGROALIMED

(*) **Cursos de Especialización de Postgrado** del correspondiente Programa Master of Science (* marcados con asterisco en el listado). Se desarrollan cada dos años:

- | | |
|---|--|
| - MEJORA GENÉTICA VEGETAL: 12-13; 14-15; 16-17 | - PLANIFICACIÓN INTEGRADA PARA EL DESARROLLO RURAL
Y LA GESTIÓN DEL MEDIO AMBIENTE: 12-13; 14-15; 16-17 |
| - OLIVICULTURA Y ELAIOTECNIA: 11-12; 13-14; 15-16 | - MARKETING AGROALIMENTARIO: 11-12; 13-14; 15-16 |
| - NUTRICIÓN ANIMAL: 11-12; 13-14; 15-16 | - ACUICULTURA: 12-13; 14-15; 16-17 |
| - MEJORA GENÉTICA ANIMAL Y BIOTECNOLOGÍA DE LA REPRODUCCIÓN:
11-12; 13-14; 15-16 | - GESTIÓN PESQUERA SOSTENIBLE: 11-12; 13-14; 15-16 |

Se destinan primordialmente a titulados universitarios en vías de especialización de posgrado. No obstante se estructuran en unidades independientes para facilitar la asistencia de profesionales interesados en aspectos parciales del programa. Los participantes que cumplan los requisitos académicos pueden optar a la realización del 2º año para la obtención del Título Master of Science. El plazo de inscripción para los cursos de Mejora genética vegetal, Planificación integrada para el desarrollo rural y la gestión del medio ambiente y Acuicultura finaliza el 4 de Mayo 2012. El plazo de inscripción para el curso de Olivicultura y elaiotecnica finaliza el 15 de Abril 2013. El plazo de inscripción para los cursos de Nutrición animal, Mejora genética animal y biotecnología de la reproducción, Marketing agroalimentario y Gestión pesquera sostenible finaliza el 3 de Mayo 2013. El Estado Español reconoce el título Master of Science del CIHEAM otorgado a través del IAMZ como equivalente al título oficial de Máster del sistema universitario español.

Erasmus Mundus Master (** marcado con dos asteriscos en el listado). Se celebra todos los años. Para obtener mayor información y realizar la solicitud consulte la página web <http://www.master-edamus.eu/>

Los cursos de corta duración están orientados preferentemente a investigadores y profesionales relacionados en el desarrollo de sus funciones con la temática de los distintos cursos. El plazo de inscripción para los cursos de corta duración finaliza 90 días antes de la fecha de inicio del curso.

	CURSOS	FECHAS	LUGAR	ORGANIZACIÓN
MEDIO AMBIENTE	RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DE RÍOS MEDITERRÁNEOS	19-24 Sep. 11	Zaragoza	IAMZ
	LOS INCENDIOS FORESTALES EN LA PERSPECTIVA DEL CAMBIO GLOBAL	13-17 Feb. 12	Zaragoza	IAMZ/UE-Proyecto FUME
	SISTEMAS DE AYUDA A LA DECISIÓN PARA EL DESARROLLO Y LA GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL DE ZONAS RURALES	19-23 Mar. 12	Zaragoza	IAMZ
	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS GEOESPACIALES EN ESTUDIOS AMBIENTALES	11-22 Jun. 12	Zaragoza	IAMZ
	* PLANIFICACIÓN INTEGRADA PARA EL DESARROLLO RURAL Y LA GESTIÓN DEL MEDIO AMBIENTE	1 Oct. 12/7 Jun. 13	Zaragoza	IAMZ/UdL
	GESTIÓN DE LOS INCENDIOS FORESTALES PARA AFRONTAR EL CAMBIO CLIMÁTICO Y SOCIOECONÓMICO	20-25 Mayo 13	Zaragoza	IAMZ/UE-Proyecto FUME
COMERCIALIZACIÓN	* MARKETING AGROALIMENTARIO	3 Oct. 11/8 Jun. 12	Zaragoza	IAMZ
	** MÁSTER ERASMUS MUNDUS EN GESTIÓN SOSTENIBLE DE LA CALIDAD DE LOS ALIMENTOS (EDAMUS)	Sept. 12-Jun. 14 / Sept. 13-Jun. 15	Montpellier y otros países del Consorcio	UM1/IAMM/ IAMZ/ UNIBAS/ IAMCh/ UMC
	NUEVAS OPORTUNIDADES PARA LA PROMOCIÓN Y EXPORTACIÓN DE LOS PRODUCTOS AGROALIMENTARIOS	12-16 Nov. 12	Zaragoza	IAMZ
	ESTRATEGIAS DE MARKETING DE ACEITE DE OLIVA	25 Feb./1 Mar. 13	Zaragoza	IAMZ/COI
	INNOVACIÓN EN ENVASES DE PRODUCTOS HORTOFRUTÍCOLAS	15-19 Abr. 13	Zaragoza	IAMZ
PESCA Y ACUICULTURA	* GESTIÓN PESQUERA SOSTENIBLE	17 Oct. 11/15 Jun. 12	Alicante	UA/MAGRAMA/ IAMZ
	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y LA SEGURIDAD DEL PESCADO Y DE LOS PRODUCTOS DE LA PESCA	17-21 Oct. 11	Derio	IAMZ/AZTI-Tecnalia/ FAO
	ANÁLISIS DEL RIESGO SANITARIO EN ACUICULTURA	12-16 Dic. 11	Zaragoza	IAMZ
	AVANCES EN REPRODUCCIÓN DE PECES Y SU APLICACIÓN AL MANEJO DE REPRODUCTORES	23-28 Ene. 12	Castellón	IAMZ/CSIC-IATS
	SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN Y SU APLICACIÓN EN ACUICULTURA	14-18 Mayo 12	Zaragoza	IAMZ
	* ACUICULTURA	15 Oct. 12/28 Jun. 13	Las Palmas de Gran Canaria	ULPGC/ICCM/IAMZ
	NUTRICIÓN DE PECES: SOSTENIBILIDAD Y CALIDAD DE LOS PRODUCTOS	22-26 Oct. 12	Zaragoza	IAMZ FAO
	ESTUDIOS DE MERCADO DE PRODUCTOS DEL MAR	10-14 Dic. 12	Zaragoza	IAMZ/FAO
	PROCESADO DE PRODUCTOS DEL MAR: TECNOLOGÍAS MODERNAS Y DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS	4-8 Feb. 13	Vigo	IAMZ/FAO/ANFACO-CECOPEPESCA
	USO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN PESCA Y ACUICULTURA	10-21 Jun. 13	Zaragoza	IAMZ

Becas. Los candidatos de países miembros del CIHEAM (Albania, Argelia, Egipto, España, Francia, Grecia, Italia, Líbano, Malta, Marruecos, Portugal, Túnez y Turquía) podrán solicitar becas que cubran los derechos de inscripción, así como becas que cubran los gastos de viaje y de estancia durante el curso. Los candidatos de otros países interesados en disponer de financiación deberán solicitarla directamente a otras instituciones nacionales o internacionales.

No obstante, en algunos cursos coorganizados con otras instituciones pueden existir becas destinadas a candidatos de algunos países no miembros del CIHEAM. Se recomienda consultar el correspondiente apartado de becas en el folleto informativo que se edita específicamente para cada uno de los cursos programados.

Información e inscripción. Los folletos informativos de cada curso se editan 6-8 meses antes de la fecha de inicio. Dichos folletos, así como los correspondientes formularios de solicitud de admisión pueden solicitarse a la dirección del IAMZ u obtenerse directamente de la página web:

Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza

Avenida de Montañana 1005, 50059 Zaragoza (España)
Teléfono +34 976 716000 - Fax +34 976 716001 - e-mail iamz@iamz.ciheam.org
www.iamz.ciheam.org

MÁSTER EN PRODUCCIÓN OVINA



**Universidad
Zaragoza**

► OBJETIVOS

El objetivo principal máster es enseñar a los alumnos a aplicar los conocimientos relacionados con la empresa ovina. Por lo tanto, la orientación del máster será práctica y permitirá complementar la formación previa que se ofrece en las titulaciones relacionadas (Grado en veterinaria, Ingeniería Agronómica, Ciencia y tecnología de alimentos, etc).

► DIRIGIDO A

El máster irá dirigido a técnicos vinculados con el sector o que pretendan orientar su futuro profesional hacia empresas relacionadas con el ovino en sus diferentes ámbitos. En la elección de los alumnos se primará la experiencia previa en el sector ovino y el curriculum vitae.

► PROGRAMACIÓN

MÓDULO 1 (15 ECTS): Producción y sanidad ovina

- Introducción
- Instalaciones y equipamiento
- Medio ambiente y bienestar animal
- Mejora genética y reproducción
- Alimentación
- Ordeño
- Sanidad
- Planificación y manejo general de la explotación
- Gestión técnico-económica

MÓDULO 2 (15 ECTS): Industrialización y comercialización

- Introducción
- Mercado y estrategias de producto
- Calidad y homogeneidad de las materias primas

- Trazabilidad y seguridad alimentaria
- Transformación
- Comercialización y marketing
- Logística global

MÓDULO 3 (15 ECTS): Herramientas de gestión empresarial

- Importancia y desarrollo del plan estratégico
- Introducción a la contabilidad y fiscalidad
- Gestión de subvenciones. Introducción al Derecho
- Herramientas de comunicación, sociología aplicada y trabajo en equipo
- Gestión de compras
- Aptitud para la venta
- Innovación
- Recursos humanos

MÓDULO 4 (15 ECTS): Especialización práctica

- Estancia práctica en empresas del sector ovino
- Entrega del proyecto fin de máster
- Presentación del proyecto fin de máster

► INFORMACIÓN GENERAL

Créditos: 60 créditos ECTS.

Duración: octubre 2012 a mayo de 2013 (modalidad anual) o enero a marzo de 2013 (modalidad intensiva).

Coste de la matrícula: 3000 euros para el Máster completo o 750 euros por módulo.

Preinscripción

Jesús Yániz Pérez de Albéniz (Universidad de Zaragoza)

Tel. 974 23 93 12

E-mail: jyaniz@unizar.es

Secretaría administrativa

Secretaría General de la Facultad de Veterinaria de Zaragoza (Asuntos Académicos)

Facultad de Veterinaria de Zaragoza

Miguel Servet 177, 50013, Zaragoza

Tel. 976 76 16 18

E-mail: acavetez@unizar.es

INSCRIPCIÓN EN AIDA

* Si desea Ud. pertenecer a la Asociación, rellene la ficha de inscripción y envíela a **Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario**. Avda. Montañana 930. 50059 Zaragoza.

Si elige como forma de pago la domiciliación bancaria, adjunte a la hoja de inscripción el impreso de domiciliación sellado por su banco.

Apellidos..... Nombre.....

Dirección postal

Teléfono..... Fax..... E-mail

Empresa

Área en que desarrolla su actividad profesional

Firma:

FORMA DE PAGO (COUTA ANUAL: 39 EUROS)

☐ Cargo a tarjeta VISA ó MASTERCARD

Número tarjeta:

Válida hasta:

□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □

☐ Cargo a cuenta corriente o libreta (rellenar la domiciliación bancaria)

Sr. Director del Banco/Caja

Muy Sr. mío:

Ruego a Vd. se sirva adeudar en la siguiente cuenta corriente / Libreta (20 dígitos)

.....
que mantengo en esa oficina, el recibo anual que será presentado por la **"Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario"**.

Atentamente,

Firmado:

Sello de la Entidad:

