

MÉTODOS DE FERTILIZACIÓN Y BALANCE DE NUTRIENTES EN LA AGRICULTURA ORGÁNICA TRADICIONAL DE LA BIORREGIÓN MEDITERRÁNEA: CATALUÑA (ESPAÑA) EN LA DÉCADA DE 1860

*Elena Galán**, *Enric Tello***, *Ramón Garrabou****, *Xavier Cusso***** y *José Ramón Olarieta******

Resumen: ¿Hasta qué punto eran sostenibles las agriculturas orgánicas tardías en la bioregión del noroeste del Mediterráneo antes de la revolución verde? ¿Se reponían los nutrientes extraídos del suelo? Ofrecemos aquí las respuestas preliminares a través de la reconstrucción del balance de nutrientes de un municipio catalán hacia 1861-1865. Con una densidad poblacional de 59 habitantes por kilómetro cuadrado, similar a otras áreas rurales del norte de Europa en aquel período, y una densidad de ganado por unidad de tierra de cultivo mucho menor, esa comunidad campesina padecía una gran escasez de estiércol. La brecha se cubría por otras vías, muy intensivas en trabajo, que transferían nutrientes desde las zonas incultas hacia las tierras de cultivo. Los viñedos eran un elemento clave en dicho agroecosistema, dado que requerían pocos nutrientes y proporcionaban el subproducto de la poda. Las áreas de bosque y matorral también proporcionaban cantidades importantes de nutrientes a través de la recolección y empleo de biomasa forestal como fertilizante.

Palabras claves: métodos de fertilización, balance de nutrientes, sistemas tradicionales de agricultura orgánica, sostenibilidad agrícola, Cataluña.

Abstract: To what extent were the late organic agricultures in the northwestern Mediterranean bioregion before the green revolution sustainable? Were the soil nutrients replenished? We offer a preliminary answer to these questions by reconstructing the nutrient balance of a Catalan township circa 1861-1865. With a population density of 59 inhabitants per square kilometer, similar to other rural areas of northern Europe in that period, and a density of livestock per unit of farmland much smaller, the rural community suffered a severe shortage of manure. This gap was covered by other very labor intensive means of transferring nutrients from uncultivated areas

* Española. Máster en Estudios Ambientales, candidata a Doctorado en Historia Económica y becaria predoctoral del proyecto de investigación HAR2009-13748-C03-01HIST. Departamento de Historia e Instituciones Económicas, Facultad de Economía y Empresa, Universidad de Barcelona, Diagonal 690, 08034 Barcelona, España. Correo electrónico: egalan@ub.edu

** Español. Doctor en Geografía e Historia y Catedrático de Universidad. Departamento de Historia e Instituciones Económicas, Facultad de Economía y Empresa, Universidad de Barcelona, Diagonal 690, 08034 Barcelona, España. Correo electrónico: tello@ub.edu

*** Español. Doctor en Historia y Catedrático Emérito de Universidad. Departamento de Economía e Historia Económica, Facultad de Economía y Estudios Empresariales, Universidad Autónoma de Barcelona, 08193 Bellaterra, España. Correo electrónico: Ramon.Garrabou@uab.cat

**** Español. Doctor en Economía. Profesor agregado de Universidad. Departamento de Economía e Historia Económica, Facultad de Economía y Estudios Empresariales, Universidad Autónoma de Barcelona, 08193 Bellaterra, España. Correo electrónico: Xavier.Cusso@uab.cat

***** Español. Doctor Ingeniero Agrónomo. Profesor Titular de Universidad. Departamento de Medio Ambiente y Ciencias del Suelo, Escuela Técnica de Ingeniería Agraria, Universidad de Lleida, 25198 Lérida, España. Correo electrónico: jramon.olarieta@macs.udl.cat

into farmland. Vineyards were a key element in this agro-ecosystem, because they require fewer nutrients and provided the by-product of pruning. Woodland and scrubland areas also provided significant amounts of nutrients through the collection and use of forest biomass as fertilizer.

Keywords: fertilizing methods, nutrient balance, traditional systems of organic agriculture, agricultural sustainability, Catalonia.

Introducción

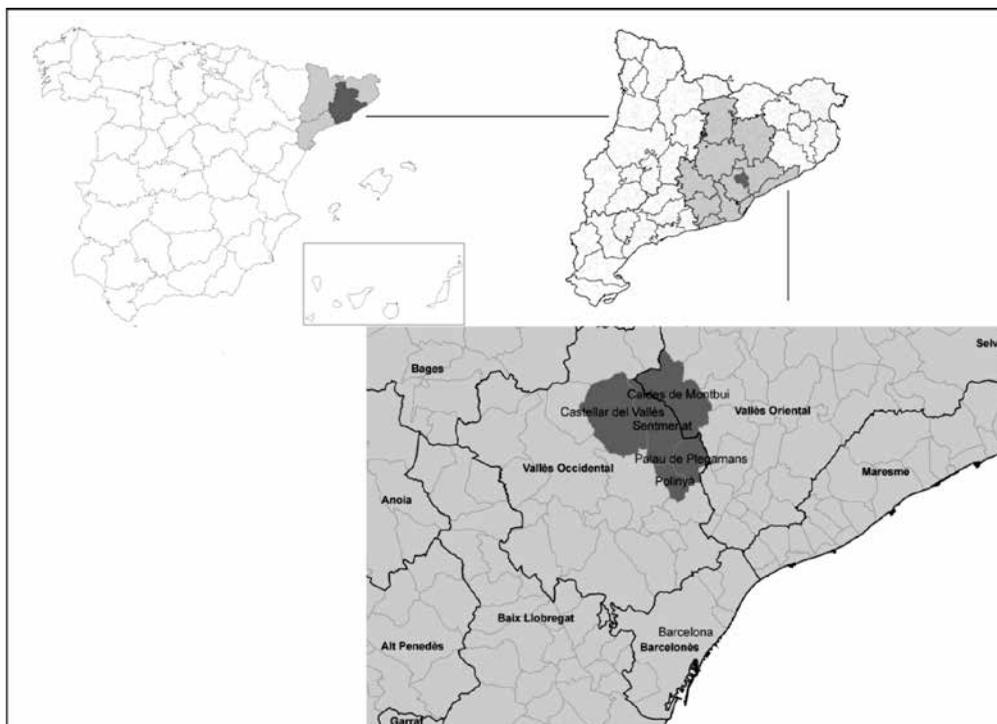
Este trabajo forma parte de un proyecto más amplio que busca aclarar los motivos que llevaron al abandono del manejo tradicional orgánico en las agriculturas del Mediterráneo. Desde el punto de vista de la reposición de nutrientes del suelo, ¿hasta qué punto habían sido sostenibles? ¿Tenían aún esos procedimientos orgánicos cierto margen de mejora en una biorregión como Cataluña, en España? Tras reconstruir el balance de energía alrededor de 1860 en la misma zona –donde encontramos una Tasa de Retorno (TRE o EROI en inglés) de la energía final obtenida sobre la energía total invertida positiva, de aproximadamente 1,41 o 1,67 según los límites del área de estudio¹-, ahora queremos completar su perfil sociometabólico mediante la estimación del balance de nutrientes y la evaluación del mantenimiento de la fertilidad del suelo.

Características agroecológicas y socioeconómicas del área de estudio

Nuestro caso de estudio es el municipio de Sentmenat, situado en la comarca catalana del Vallés, a unos 35 km al noreste de Barcelona, con una extensión total de 2.750 hectáreas, de las cuales el 59% se encontraban cultivadas en 1861.

El pueblo se estableció durante el siglo X en un pequeño llano situado en la fosa tectónica entre las cordilleras litoral y prelitoral de Cataluña. Tiene una pendiente media del 9,7% y una precipitación anual de 643 mm. El índice heliotérmico de Huglin es de 2.168, lo suficientemente bueno para la viticultura, pues su requisito mínimo es de 1.500, y en Cataluña se alcanza una puntuación máxima municipal de 2.778.² La pluviosidad y la temperatura permiten un rendimiento razonable en el cultivo de cereales, al menos en los suelos más profundos con una mayor capacidad de retención de agua.

FIGURA 1
UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO: EL MUNICIPIO DE
SENTMENAT Y MUNICIPIOS VECINOS EN LA PROVINCIA
DE BARCELONA Y CATALUÑA (ESPAÑA)



Notas: En el mapa de abajo a la derecha las líneas grises delimitan los límites municipales, y las líneas negras, los límites comarcales.

Fuente: Elaboración propia.

En 1860 había 354 familias y 1.713 personas censadas en Sentmenat, lo que suponía una densidad de población de 59 habitantes por kilómetro cuadrado. Eso significaba una disponibilidad media de 1,7 hectáreas por habitante en el término municipal, o de 1,4 hectáreas cultivadas por habitante. El 70% de la fuerza de trabajo se dedicaba a la agricultura, y un 21% a actividades manufactureras. Un total de 208 entre las 241 familias agrícolas eran consideradas “campesinas” o “propietarias” en los padrones, censos o catastros, mientras que 21 de estos aparecían en ellos trabajando como labradores o aparceros y 12 como jornaleros. Cruzando los datos catastrales de superficie cultivada con la capacidad laboral familiar estimada según los datos del padrón sobre los residentes en cada casa, y teniendo en cuenta los requerimientos laborales medios por unidad de superficie en aquella zona y período, consideramos que 187 de aquellos 208 “propietarios” podrían considerarse unidades familiares campesinas autónomas, entendiendo por tales las que trabajaban sus tierras principalmente con mano de obra familiar, solo recurriendo a la contratación de mano de obra ajena a la familia en ciertas tareas estacionales de elevada intensidad puntual.

Muchos campesinos sin tierra, o con muy poca tierra propia, tenían, además, lazos de parentesco con aquellos propietarios campesinos.³ A pesar de no ser igualitaria, era una sociedad rural que mantenía un alto grado de acceso a la tierra entre sus habitantes, tanto a través de la pequeña o mediana propiedad como de la aparcería en ciertos cultivos especializados como la vid. Puede ser vista, por tanto, como una comunidad básicamente campesina con un cierto grado de polarización social entre las familias con tierra propia insuficiente que debían arrendar algunas parcelas a los mayores propietarios del lugar.⁴ Ese rasgo resulta particularmente relevante en nuestro caso de estudio, dado que en la literatura reciente sobre sí durante el primer capitalismo liberal del siglo XIX ya se abrió o no una ‘brecha sociometabólica’ entre el campo y la ciudad, algunos autores han subrayado justamente el papel que jugaron las comunidades campesinas como amortiguadoras de aquellas tendencias al deterioro de la fertilidad del suelo.⁵

El coeficiente de desigualdad de Gini era de 0,58 para la distribución de la superficie total de tierra poseída en 1859, o de 0,51 si solo se tienen en cuenta las tierras de cultivo. En 1735 habían sido de 0,77 y 0,67, y aumentaron de nuevo a 0,76 o 0,70 en 1918, después de la plaga de la filoxera que mató todas las vides viejas en la década de 1880.⁶ Así pues, la reducción de la desigualdad en la posesión de la tierra experimentada entre 1735 y 1859 había sido impulsada por la especialización vitícola.⁷ Muchos propietarios y algunos campesinos arrendaban suelos pobres en zonas de mayor pendiente, que habían estado previamente cubiertos por matorral y pastos, a un número creciente de familiares no herederos o inmigrantes sin tierra, quienes construyeron terrazas y plantaron viñedos en ellos.⁸ Era de uso común un contrato de aparcería catalán denominado *rabassa morta*, que perduraba hasta la muerte de las cepas plantadas por el *rabasser* (un vocablo catalán que se deriva de *arrabassar*, es decir, “rozar” un bosque). Esto explica la menor desigualdad registrada con la especialización vitícola, que consistió más en una reducción de la inequidad en el acceso a la tierra, o en la desigualdad de ingresos, que en la distribución de la propiedad de la tierra como tal.⁹

Usos del suelo, densidades ganaderas y estiércol

La especialización vitícola se desarrolló durante el siglo XIX manteniendo una cierta cantidad de tierra, por lo general la de mejor calidad, dedicada a la siembra de cereales, legumbres y hortalizas en un paisaje policultural. Con tan solo un 12,4% de la tierra en 1861, los pastos naturales eran extremadamente escasos y muy pobres para alimentar la ganadería. Pero una gran cantidad de tierras de cultivo eran viñedos u olivares que extraían menos nitrógeno (N), y suministraban poda como subproducto. Gracias a la arboricultura, la relación entre el área inculta y las tierras sembradas con cultivos herbáceos pudo mantenerse en 2,4 hacia 1861, y la proporción entre cubiertas permanentes y tierras anualmente sembradas subía hasta 5,1 (Tabla 1). Todas estas características eran típicas de una “agricultura orgánica intensiva”¹⁰ de tipo Mediterráneo, que entraría en crisis con la globalización económica experimentada desde finales del siglo XIX hasta la Primera Guerra Mundial.¹¹

TABLA 1
TIERRA CULTIVADA Y OTROS USOS DE LA TIERRA EN SENTMENAT EN 1861

	<i>ha</i>	<i>% tierras cultivadas</i>	<i>% área total</i>
Hortalizas y cultivos herbáceos de regadío	67,8	4,2	2,5
Cultivos herbáceos de secano	365,5	22,6	13,3
Viñedos	1.066,1	65,9	38,8
Olivares	113,1	7,0	4,1
Otros cultivos leñosos de secano	5,2	0,3	0,2
Total superficie cultivada	1.617,7	100,0	58,8
Superficie forestal	698,4	--	25,4
Pastos	341,4	--	12,4
Improductiva o urbanizada	92,5	--	3,4
ÁREA TOTAL	2.750	--	100,0
<i>ratio entre superficie forestal y pastos / total área cultivada</i>			<i>0,64</i>
<i>ratio entre superficie forestal / total área cultivada</i>			<i>0,43</i>
<i>ratio entre superficie forestal y pastos / hortalizas y cultivos herbáceos de regadío</i>			<i>2,40</i>
<i>ratio entre superficie forestal / hortalizas y cultivos herbáceos de regadío</i>			<i>1,61</i>
<i>ratio entre superficie forestal, pastos, viñedos, olivares, y otros cultivos leñosos de secano / hortalizas y cultivos herbáceos de regadío</i>			<i>5,13</i>
<i>ratio entre superficie forestal, pastos, viñedos, olivares, y otros cultivos leñosos de secano / total área cultivada</i>			<i>1,37</i>

Fuente: Elaboración propia a partir de las fuentes catastrales del Archivo de la Corona de Aragón (Barcelona).

Un factor crucial de aquellas agriculturas orgánicas preindustriales era el contingente de ganado alimentado en terrenos baldíos o con cultivos forrajeros y piensos, con el fin de proporcionar suficiente estiércol para la tierra sembrada con cereales.¹² En Sentmenat había tan solo 5 cabezas de ganado por kilómetro cuadrado en 1865, o 7 si se incluyen los asnos (Tabla 2).

TABLA 2
GANADO Y ESTIÉRCOL EN SENTMENAT EN 1865

<i>Estiércol producido</i>	<i>cabezas</i>	<i>Kg por cabeza y día</i>	<i>Kg totales por año</i>	<i>total disponible^b</i>
Caballar	5	22	40.150	40.150
Mular	103	22	827.090	827.090
Asnal	76	8	221.920	221.920
Vacuno y bovino	26	34,15	324.060	324.084
Ovejas	225	2,3	188.888	94.444
Cabras	70	2,3	58.765	29.383
Cerdos	310	6,5	735.475	735.475
Aves y conejos ^c	1.735	0,137	86.759	86.759
Ovino trashumante	350	1,15	146.913	73.456
TOTAL (peso de estiércol fresco)			2.630.042	2.432.760
<i>%N-P-K^a pérdidas de transformación^d</i>		<i>50% N</i>	<i>3% P</i>	<i>20% K</i>
<i>N-P-K disponible en el abono orgánico^c</i>		8.515 kg N	3.776 kg P	8.563 kg K
<i>Unidades de ganado de 500 kg (UG500)^e</i>	199,3		<i>ha⁻¹ cultivadas</i>	1,50
<i>UG500 km cuadrado⁻¹</i>	7,25		<i>ha⁻¹ aradas^e</i>	5,61
<i>UG500 ha tierras cultivadas⁻¹</i>	0,12			
<i>UG500 ha¹ tierras de labor sembradas^f</i>	0,46			

Notas: ^a En la tabla periódica de los Elementos Químicos las letras N, P y K representan, respectivamente, nitrógeno, fósforo y potasio. ^b Para las ovejas y las cabras mantenidas en los pastizales se ha descontado el 50% de estiércol considerando que no se podía recuperar mediante el encierro de la manada por la noche en un redil, o conduciéndola al establo. ^c Estimado por nosotros a partir del alimento disponible y suponiendo la existencia de cinco aves o conejos por unidad familiar. ^{d,e} Véase la Tabla 7. ^f Cultivos herbáceos de secano y de regadío y huertos.

Fuente: Estimación propia a partir del censo ganadero de 1865 del municipio, los datos proporcionados por la literatura contemporánea y las hipótesis formuladas en el balance energético publicado por: Xavier Cussó, Ramón Garrabou, José Ramón Olarieta y Enric Tello, "Balances energéticos y usos del suelo en la agricultura catalana: una comparación entre mediados del siglo XIX y finales del siglo XX", *Historia Agraria*, 40 (2006): 471-500. <http://www.historiaagraria.com/numero.php?n=40>. Las siguientes referencias también se han tenido en cuenta: D. R. Bouldin, S. D. Klausner y W. S. Reid, "Use of nitrogen from manure: proceedings", en: *Nitrogen in Crop Production*, (ed.) Roland Daniel Hauck (Madison, U.S.: ASA/CSSA/SSA, 1984), 221-245. David J. Connor, Robert S. Loomis y Kenneth G. Cassman, *Crop ecology: productivity and management in agricultural systems* (Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press, 1992). P. Sørensen, E. S. Jensen y N. E. Nielsen, "Labelling of animal manure nitrogen with ¹⁵N", *Plant and Soil* (Holanda) 162, n. 1 (1994): 31-37; doi: 10.1007/BF01416087. Samuel Tisdale y Werner Nelson, *Soil Fertility and Fertilizers* (New York, U.S.: Macmillan, 1956).

Eso significaba una densidad ganadera, expresada en unidades de peso vivo estandarizado de 500 kilos, de tan solo 12 UG500 por kilómetro cuadrado de tierra de cultivo. En comparación, Fridolin Krausmann ha encontrado 24 UG500 por kilómetro cuadrado de superficie agrícola en la localidad austriaca de Theyern en 1829, mientras que en las Grandes Llanuras norteamericanas, donde se practicaba un uso muy extensivo del suelo, Geoff Cunfer ha registrado valores de entre 4 y 13 UG500 en el municipio de Finley (Kansas) desde 1895 hasta 1915.¹³ Aquella densidad de ganado era con claridad insuficiente para una agricultura orgánica altamente intensiva, y solo podía suministrar 1,5 toneladas de estiércol fresco por hectárea de cultivo, una cifra que coincide con las 1,37 toneladas contabilizadas en el primer estudio estadístico sobre fertilizantes llevado a cabo en 1919 en la provincia de Barcelona. La dosis recomendada por los agrónomos era de 10 toneladas por hectárea cultivada.¹⁴

Sin embargo, esas cifras medias esconden también marcadas diferencias entre cultivos. En el cultivo de la vid no se utilizaba estiércol, y solo en cantidades muy pequeñas en los olivares. Esto explica el papel desempeñado por la especialización vitícola en la reducción de la relación entre superficie sembrada con cereales y tierras incultas (Tabla 1). Si asumimos que todo el estiércol se aplicaba al cultivo de cereales, la densidad ganadera se elevaría hasta 46 UG500 por kilómetro cuadrado de tierra sembrada, y las dosis promedio hasta 5,6 toneladas de estiércol fresco por hectárea de cereal, lo que también coincide con las 6 o 7 toneladas por hectárea sembrada atribuidas por otras fuentes para el cultivo de cereales de secano en la provincia de Barcelona durante la segunda mitad del siglo XIX, incluyendo dosis de 22 a 32 toneladas por hectárea aplicadas en tierras de regadío. Esas cifras habrían duplicado las dosis aplicadas en los Estados Unidos, que hacia 1870 sumaban entre 2,5 y 5 toneladas por hectárea,¹⁵ o igualaban las cifras promedio de Inglaterra y Gales que oscilaban entre 4 y 5 toneladas por hectárea desde mediados del siglo XIX hasta la Primera Guerra Mundial.¹⁶

Cómo se superaba el déficit de estiércol

Suponiendo que los cultivos leñosos no recibían estiércol alguno, seguía existiendo una brecha significativa entre la densidad del ganado disponible y la fertilización requerida. Llegamos, pues, a la conclusión de que había otros fertilizantes orgánicos capaces de llenar ese vacío, o bien, se estaba incurriendo en un insostenible empobrecimiento del suelo en los cultivos leñosos hasta que se difundieron los abonos químicos. Al comparar las prácticas de fertilización en Kansas y Austria, Geoff Cunfer y Fridolin Krausmann concluyen que, gracias a su alta densidad ganadera, los campesinos austriacos eran capaces de reponer cerca del 90% del N extraído en las tierras de labor, aunque producían un magro excedente comercial. En cambio, los agricultores que colonizaron el oeste norteamericano generaban grandes exportaciones, pero utilizaban pocos animales para explotar los ricos suelos de las Grandes Llanuras, reponiendo menos de la mitad del N extraído. Después de agotar la fertilidad del suelo durante más de seis décadas, se enfrentaron a una caída de rendimientos entre 1880 y 1940, hasta que llegaron los fertilizantes químicos.¹⁷ Entre ambos ejemplos, ¿dónde podemos situar la trayectoria seguida por la agricultura en la cuenca occidental del Mediterráneo?

Intentaremos ofrecer una respuesta mediante la reconstrucción de un balance completo de nutrientes en nuestro caso de estudio. Hemos estimado las salidas y entradas de nutrientes a partir del contenido en los cultivos y semillas, teniendo en cuenta el índice de cosecha y la reutilización de subproductos. La Tabla 3 muestra la cantidad de N-P-K absorbida por los diferentes cultivos, sin haber descontado las semillas, y distinguiendo entre la parte principal consumida del producto y los subproductos reutilizados. En las tierras de regadío y hortícolas se extraían anualmente unos 40 kg de N por hectárea, tres veces más que el promedio y unas 5,6 veces el N absorbido por los viñedos. Las rotaciones intensivas de cereal sembrado sin barbecho en secano extraían el 39% de todo el N en el 22,6% de las tierras de cultivo, alrededor de 22 kg de N por hectárea. Los viñedos extraían 7 kg de N por hectárea, incluidas las uvas y los brotes de poda. A pesar de cubrir dos tercios de las tierras de cultivo, las vides solo extraían el 38% de N, el 28% de P y el 18% de K.

TABLA 3
ESTIMACIONES DE LA EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES POR LOS
CULTIVOS EN SENTMENAT (1860-1865)

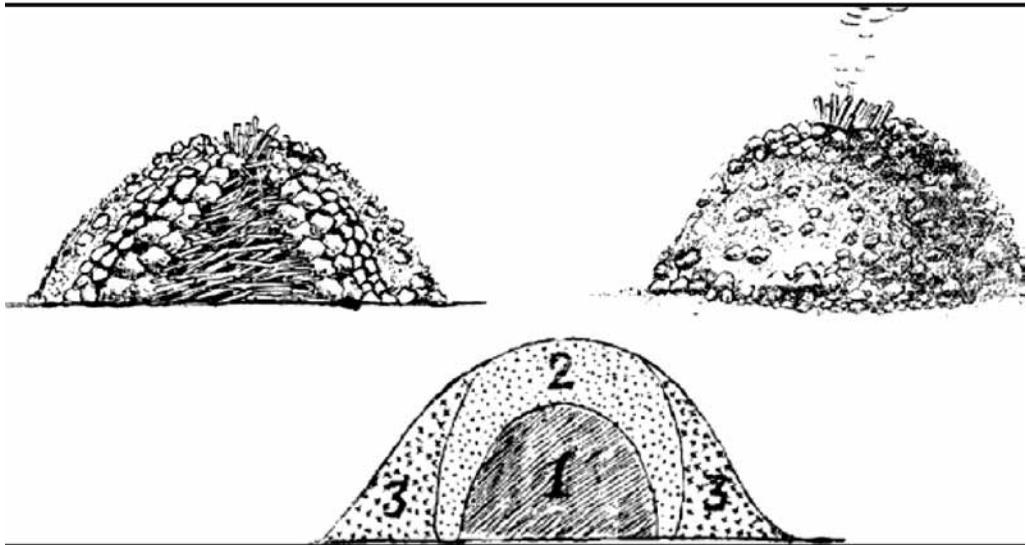
<i>3.1. Producto principal para consumo humano o alimentación animal</i>						
	Peso fresco neto kg	kg N / año	kg P / año	kg K / año		
Trigo de regadío	19.166	353	63			67
Maíz de regadío	17.856	276	49			67
Cáñamo	15.561	230	36			72
Habas	18.323	651	86			315
Trigo de secano	1.879	1.879	337			357
Maíz de secano	29.884	541	97			103
Mezcla de centeno y otros cereales	15.052	241	43			59
Cebada	26.513	459	188			125
Forrajes	174.903	1.235	268			752
Guisantes	41.155	1.070	96			254
Aceite de oliva de los olivares	16.104	0	0			0
Jugo de uva de los viñedos	2.070.079	0	414			2.070
Hortalizas	171.618	422	211			492
Frutales de regadío	27.878	8	5			23
Frutos secos	6.638	11	5			16
COSECHA TOTAL NETA	2.652.609	7.376	1.898			4.772
<i>3.2. Subproductos de los cultivos y residuos</i>						
	Peso fresco neto kg	kg N / año	kg P / año	kg K / año		
Paja y rastrojo de trigo de regadío	45.699	243	155			226
Paja y rastrojo de maíz de regadío	9.723	50	37			152
Residuos y rastrojos de cáñamo	11.413	55	43			183
Paja y rastrojo de las habas	13.111	178	51			151
Paja y rastrojo de trigo de secano	194.029	1.063	658			955
Paja y rastrojo de maíz de secano	57.536	47	30			122
Id. mezcla de centeno y otros cereales	48.505	158	100			147
Paja y rastrojo de cebada	91.696	440	174			275
Paja y rastrojos de los forrajes	69.621	518	115			323
Paja y rastrojo de guisantes	21.422	257	91			442
La poda de los olivares	309.950	1.937	542			2.015
La poda de los viñedos	2.733.716	7.574	1.981			4.303
Los subproductos y residuos de huertas	66.289	287	93			264
TOTAL SUBPRODUCTOS	3.672.710	12.807	4.070			9.558
<i>3.3. Distribución de la extracción de nutrientes entre los principales flujos agroecológicos</i>						
	kg N / año	%	kg P / año	%	kg K / año	%
Productos hortícolas	654	3,2	286	4,8	686	4,8
Cereales y leguminosas para alimentación ^{ab}	5.414	26,8	1.621	27,1	2.612	18,2
Piensos y forrajes para ganadería ^b	4.529	22,4	1.098	18,4	2.534	17,7
Viñedos	7.574	37,5	2.395	40,1	6.373	44,5
Olivares	2.011	10,0	570	9,5	2.123	14,8
TOTAL EXTRAÍDO POR CULTIVOS	20.182	100,0	5.970	100,0	14.328	100,0
Pérdidas por procesos naturales	9.049	--	0	--	2.051	--
NUTRIENTES EXTRAÍDOS	29.231		5.970		16.379	

Notas: ^a Cáñamo incluido. ^b Tanto de secano como de regadío.

Fuente: Elaboración propia a partir de Xavier Cussó, Ramón Garrabou, José Ramón Olarieta y Enric Tello, "Balances energéticos y usos del suelo en la agricultura catalana: una comparación entre mediados del siglo XIX y finales del siglo XX", *Historia Agraria*, 40 (2006): 471-500. <http://www.historiaagraria.com/numero.php?n=40>, y teniendo en cuenta, entre otros, a Samuel Tisdale y Werner Nelson, *Soil Fertility and Fertilizers* (New York, U.S.: Macmillan, 1956), David J. Connor, Robert S. Loomis y Kenneth G. Cassman, *Crop ecology: productivity and management in agricultural systems* (Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press, 1992). P. Angás, J. Lampurlán y C. Cantero-Martínez, "Tillage and N fertilization effects on N dynamics and Barley yield under semiarid Mediterranean conditions", *Soil and Tillage Research* (U.S.) 87, n. 1 (mayo 2006): 59-71; doi:10.1016/j.still.2005.02.036.

En términos generales, esa distribución revela la lógica que subyacía en la prioridad otorgada a aquel abono animal tan escaso: se aplicaba, en primer lugar, a las tierras de regadío, y luego a los cereales de secano en rotación con leguminosas fijadoras de N o abonos verdes. Los viñedos no se abonaban con estiércol, excepto al plantarlos, y solo recibían pequeñas cantidades de otros fertilizantes orgánicos como restos de hojas y ramas enterradas en zanjas cavadas entre las hileras de vides, o la quema e incorporación al suelo de los llamados *formiguers* (en catalán). Estos eran como pequeños hornos de carbón vegetal hechos con montones de vegetación seca que se quemaba bajo una capa de tierra, para generar una combustión lenta e incompleta. El material obtenido era utilizado como fertilizante o acondicionador del suelo.¹⁸

FIGURA 2
PREPARACIÓN Y COMPOSICIÓN DE UN *FORMIGUER*
EMPLEADO COMO FERTILIZANTE



Notas: 1: tierra arrasada; 2: el suelo se calienta entre 100°C y 200°C, la más fértil obtenida en el «formiguer»; 3: la tierra apenas se calienta.

Fuentes: Citadas en José Ramón Olarieta, et.al., “«Formiguers», a historical system of soil...”.

En las 1.618 hectáreas de labor en Sentmenat hacia 1860-1865 se extraían anualmente unos 20.195 kg de N, es decir, 12,5 kg de N por hectárea. Todo el estiércol producido por la cabaña ganadera local solo contenía alrededor de 12.164 kg de N. Considerando que al menos un 50% se perdía en los estercoleros, el N realmente disponible se reduciría a 6.082 kg, o un máximo de 3,8 kg de N por hectárea al año.¹⁹ Dada esa carencia en el suministro de N a través del estiércol animal, se buscaron otras fuentes de nutrientes y prácticas agrícolas de fertilización. Había cinco opciones distintas: 1) los excrementos y la basura de origen humano; 2) la fijación simbiótica bacteriana de N a través de cultivos leguminosos; 3) los abonos verdes; 4) el enterramiento en el suelo de biomasa fresca; y 5) las cenizas, el carbón vegetal y la tierra quemada en los *formiguers*. Para evaluar el papel desempeñado por cada una de estas contribuciones necesitamos reconstruir un balance de nutrientes completo.

Una de las partes más difíciles de cualquier balance de nutrientes orgánicos es el valor que se adopte para la fijación de nitrógeno atmosférico producido por bacterias simbióticas. Incluso en la actualidad, la literatura científica presenta una variación desconcertante en las cifras de N fijado por leguminosas. Eso se explica en gran medida por la naturaleza circunstancial de la simbiosis entre las plantas leguminosas y la bacteria *Rhizobium*, dado que la presencia de altas dosis de N mineral en el suelo inhibe o incluso suprime la fijación bacteriana. Además, solo una parte del contenido de N de una planta leguminosa proviene de la atmósfera. Antes que la nodulación de *Rhizobium* se desarrolle en las raíces, la planta necesita absorber N mineral del suelo y, por tanto, no todo el N absorbido antes de la floración y la maduración del grano se puede atribuir a esos nódulos de *Rhizobium*. El menor costo en energía del carbono dirigido al propio crecimiento de la planta, en vez de cederlo a unas colonias de *Rhizobium* que pueden permanecer inactivas, explica por qué las leguminosas rompen la fijación simbiótica de N cuando hay suficiente N mineral en el suelo.

Esta flexibilidad tiene mucho que ver con el papel crucial jugado por las plantas leguminosas en el desarrollo milenario de las agriculturas orgánicas, en las que el N mineral era casi siempre carencial en el suelo.²⁰ Por desgracia, eso genera una considerable incertidumbre acerca de la fijación simbiótica real en cada circunstancia particular. Se han estimado valores que van desde 10 a más de 300 kg de N por hectárea al año. Existen ejemplos y opiniones que reducen la fijación simbiótica de N a valores muy pequeños, o que incluso suponen un resultado neto negativo si el grano se extrae y los residuos vegetales no se incorporan al suelo. La única regla segura es que tanto la fijación bacteriana simbiótica como la libre serían mayores cuanto más pobre en N mineral fuera el suelo en cuestión. Por tanto, el N absorbido desde la atmósfera por los cultivos leguminosos podría haber sido mayor en los sistemas tradicionales de agricultura orgánica que en los convencionales en la actualidad, una hipótesis que la agricultura ecológica actual podría ayudarnos a corroborar.²¹ A pesar de tales incertidumbres, hemos llevado a cabo una estimación preliminar que se muestra en la Tabla 4.

TABLA 4
ESTIMACIÓN DEL N FIJADO EN EL SUELO A TRAVÉS DE CULTIVOS
LEGUMINOSOS EN SENTMENAT HACIA 1860-1865

	<i>Estimación media de N fijado en kg por ha y año</i>	<i>Tierra cultivada en ha por año</i>	<i>%</i>	<i>N incorporado en kg por año</i>
Habas	34,5	23,5	15,2	810,8
Alfalfa y otros forrajes	26,2	65,7	42,4	1.720,3
Guisantes	20,0	65,7	42,4	1.304,4
TOTAL	Media ponderada: 24,8	154,9	100,0	3.835,5

Fuente: Elaboración propia, basada en la composición N-P-K por unidad de peso de las leguminosas utilizadas en nuestro balance: Monica Bassanino, Carlo Grignani, Dario Sacco y Erica Allisardi, "Nitrogen balances at the crop and farm-gate scale in livestock farms in Italy", *Agriculture, Ecosystems and the Environment* (Italia) 122, n. 3 (enero 2007): 282-294; doi:10.1016/j.agee.2007.01.023. P. M. Berry, E. A. Stockdale, R. Sylvester-Bradley, L. Philipps, K. A. Smith, E. I. Lord, C. A. Watson y S. Fortune, "N, P and K budgets for crop rotations on nine organic farms in the UK", *Soil Use and Management* (Inglaterra) 19, n. 2 (junio 2003): 112-118; doi:10.1016/j.agee.2007.01.023. J. Z. Castellanos, J. J. Peña-Cabriales y J. A. Acosta-Gallegos, "N-15 determined dinitrogen fixation capacity of common bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars under water stress", *Journal of Agricultural Science* (Inglaterra) 126 (1996): 327-333; doi: 10.1017/S0021859600074888. L. E. Drinkwater, P. Wagoner y M. Sarrantonio, "Legume-based cropping systems have reduced carbon and nitrogen losses", *Letters to Nature*, 396 (noviembre 1998): 262-265; <http://www.biotech-info.net/legume.pdf>. Petronella Domburg, Anthony C. Edwards, Alex H. Sinclair y Neil A. Chalmers, "Assessing nitrogen and phosphorus efficiency at farm and catchment scale using nutrient budgets", *Journal of the Science of Food and Agriculture* (Inglaterra) 80, n. 13 (octubre 2000): 1946-1952; doi:10.1002/1097-0010(200010)80:13<1946::AID-JSFA736>3.0.CO;2-Q. Elisabeth A. Holland, Frank J. Dentener, Bobby H. Braswell y James M. Sulzman, "Contemporary and pre-industrial global reactive nitrogen budgets", *Biogeochemistry* (U.S.) 46, n. 1-3 (1999): 33-36; doi:10.1007/BF01007572. Thomas A. La Rue y Thomas G. Patterson, "How much nitrogen do legumes fix?", en: *Advances in Agronomy. Volume 34*, (ed.) N. C. Brady (New York, U.S.: Academic Press, New York, INC., 1982), 15-38. David J. Connor, Robert S. Loomis y Kenneth G. Cassman, *Crop ecology: productivity and management in agricultural systems* (Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press, 1992). A. Oberson, S. Nanzer, C. Bosshard, D. Dubois, P. Mäder y E. Frossard, "Symbiotic N₂ fixation by soybean in organic and conventional cropping systems estimated by ¹⁵N dilution and ¹⁵N natural abundance", *Plant and Soil* (Holanda) 290, n. 1-2 (2007): 69-83; doi:10.1007/s11104-006-9122-3. Mark B. Peoples y Eric T. Craswell, "Biological nitrogen fixation: Investments, expectations and actual contributions to agriculture", *Plant and Soil* (Holanda) 141, n. 1-2 (1992): 13-39; doi:10.1007/BF00011308. D. A. Phillips y T. M. DeJong, "Dinitrogen fixation in leguminous crop plants", en: *Nitrogen in Crop Production*, (ed.) Roland Daniel Hauck (Madison, U.S.: ASA/CSSA/SSSA, 1984), 121-132. Knut Schmidtke, Angelika Neumann, Claudia Hof y Rolf Rauber, "Soil and atmospheric nitrogen uptake by lentil (*Lens culinaris* Medik.) and barley (*Hordeum vulgare* ssp. *nudum* L.) as monocrops and intercrops", *Field Crops Research* (Alemania) 87, n. 2-3 (mayo 2004): 245-256; doi:10.1016/j.fcr.2003.11.006. Samuel Tisdale y Werner Nelson, *Soil Fertility and Fertilizers* (New York, U.S.: Macmillan, 1956). J. R. Wilson (ed.), *Advances in nitrogen cycling in agricultural ecosystems* (Wallingford, Inglaterra: CAB International, 1988), 451; y las otras referencias mencionadas en la Tabla 7.

Los abonos verdes proporcionaban otro uso importante de las propiedades fijadoras de nitrógeno de los cultivos leguminosos. Hemos encontrado suficientes fuentes históricas para creer que el abono verde ya se utilizaba en la provincia de Barcelona durante la segunda mitad del siglo XIX, y era promovido por los agrónomos de la época. Sin embargo, no tenemos datos precisos de la superficie media sembrada, la especie utilizada o la cantidad de N atmosférico fijado. Como una estimación aproximada muy preliminar, y suponiendo que el 3,6% de las tierras de cultivo herbáceo se sembraran cada año con abono verde, alrededor de 165.900 kg de biomasa aérea podían haber sido enterrados en el suelo. Suponemos que el N atmosférico fijado era el único flujo de entrada neto obtenido de los abonos verdes que debe ser incluido en el balance, ya que el resto de los nutrientes eran simplemente reciclados en el suelo.

Según muchos autores y fuentes locales de la época, cierta cantidad de subproductos de los cultivos o de biomasa forestal se aplicaba directamente al suelo como fertilizante, en vez de incorporarse como materia orgánica en las pilas de estiércol o simplemente desecharse. Se empleaban dos procedimientos: 1) enterrar directamente la materia vegetal fresca en zanjas cavadas entre las hileras de vides; 2) la incorporación al suelo de las cenizas, el carbón vegetal y la cubierta de suelo quemada en los llamados *formiguers*.²²

FIGURA 3
BIOMASA ENTERRADA EN UNA ZANJA EXCAVADA ENTRE VIDES (IZQUIERDA) Y LA FERTILIZACIÓN MEDIANTE *FORMIGUERS* (DERECHA)



Fuente: Las fotografías fueron tomadas durante la década de 1930 en Cataluña: P. Roca, *El Sistema de Cereal de secà i la Ramaderia de les Masies del Vallès Occidental Entre els Segles XVII i XIX* (Tesis Doctoral leída en la Universidad Autónoma de Barcelona, Bellaterra, 2008). El grabado en la parte superior derecha se publicó en Francia en 1827: Josep Miret i Mestre, "Las rozas en la península ibérica. Apuntes de tecnología agraria tradicional", *Historia agraria: Revista de Agricultura e Historia Rural*, 34 (2004): 165-193; <http://www.historiaagraria.com/numero.php?n=34>.

¿Cuántos nutrientes se podían obtener mediante esos métodos de fertilización? Con el fin de estimar el potencial de la biomasa local hemos analizado la proporción entre la superficie sembrada con granos, la tierra dedicada a la arboricultura, y la biomasa forestal disponible que podría ser removida sosteniblemente de las áreas de bosque o matorral. La cantidad de nutrientes que se añadirían a la tierra mediante el entierro de biomasa fresca es fácil de deducir a partir de su contenido de N-P-K (aunque solo se toma en cuenta el N orgánico, ignorando cualquier posible pérdida por mineralización). La cantidad de nutrientes proporcionados por cada *formiguer* se ha tomado del análisis en laboratorio de un *formigue* experimental realizado por José Ramón Olarieta siguiendo las instrucciones de viejos campesinos que aún recordaban haberlos hecho en su

juventud.²³ Parece que cualquier contribución neta de N habría sido insignificante, pero los *formiguers* habrían añadido cantidades significativas de P y K, que también podrían resultar en un aumento significativo de los rendimientos de las leguminosas sembradas para obtener N.²⁴

Además de esa incorporación de nutrientes minerales, quedan todavía algunas incógnitas acerca del impacto que este método podría haber tenido en el componente biótico de la fertilidad del suelo. De acuerdo con la interpretación dada por el ingeniero agrónomo Cristóbal Mestre y el químico Antonio Mestres en 1949, el aumento de temperatura experimentado por la capa del suelo que cubría el *formiguer* provocaba una variación en sus poblaciones de microorganismos que podían ayudar a explicar los aumentos de cosecha obtenidos en campos experimentales fertilizados de ese modo, en comparación con otras parcelas de control. Por ejemplo, a través del aumento de la población de bacterias del suelo que son fijadoras libres de N atmosférico.²⁵ Nuestra estimación preliminar no toma en consideración ese aspecto y, por tanto, los datos que se muestran en la Tabla 5 pueden pecar de conservadores.

TABLA 5
ESTIMACIÓN DE LOS NUTRIENTES AÑADIDOS AL SUELO, A TRAVÉS DEL ENTIERRO DE BIOMASA FRESCA Y LA QUEMA DE FORMIGUERSEN SENTMENAT HACIA 1860-1865

<i>Nutrientes</i>	<i>Producción disponible kg</i>	<i>N kg por año⁻¹</i>	<i>P kg por año⁻¹</i>	<i>K kg por año⁻¹</i>
Biomasa de la poda enterrada	497.590	2.141,6	1.181,2	1.754,2
Biomasa de los bosques o matorrales enterrada ^a	111.522	557,6	167,3	669,1
<i>Formiguers</i> quemados y arados ^b	1.472.509	0,0	30,3	606,3
TOTAL POR BIOMASA	2.081.621	2.699,2	1.378,8	3.029,6

Notas: ^a Pajas, hierbas, bellotas, ramas o arbustos que también podrían ser utilizados en parte para quemar en *formiguers*, junto con la poda y otros productos derivados de los cultivos. Hemos supuesto que solo una cuarta parte de la biomasa disponible en los bosques y matorrales se utilizó de ese modo. ^b Hemos considerado el número máximo de *formiguers* de acuerdo con la biomasa disponible.

Fuente: Elaboración propia a partir de Enric Tello, Ramón Garrabou y Xavier Cussó, "Energy Balance and Land Use..." y los resultados del trabajo de campo y análisis realizados por José Ramón Olarieta.

Suponemos que el entierro de biomasa y los *formiguers* desempeñaron un papel de ajuste final para compensar los déficits remanentes en el balance de nutrientes. En nuestro balance general aparecen como un componente menor, porque el número de *formiguers* que hemos estimado es más bien reducido, debido a las considerables incertidumbres que aún tenemos sobre el tamaño de cada *formiguer* y la cantidad de biomasa quemada en ellos. Considerando que este es un tema que requiere ser estudiado más a fondo en el futuro, hemos adoptado como una opción muy prudente un promedio de 13 *formiguers* por hectárea cultivada al año (o 20 si solo se aplicaban a los viñedos), una cifra ajustada a la biomasa forestal localmente disponible. Sin embargo, en algunas fuentes históricas se pueden encontrar cifras de hasta 200²⁶ o incluso 700 *formiguers* por hectárea y año.²⁷ Teniendo en cuenta el trabajo altamente intensivo demandado por estas técnicas, parece razonable suponer que su uso dependiera de la escasez relativa de otros

fertilizantes, y de la abundancia de mano de obra barata. Llegamos a una conclusión similar considerando el papel desempeñado por la tarea de recoger las ramas caídas y la biomasa seca de los bosques y matorrales mediterráneos, que suelen ser propensos a sufrir incendios forestales.²⁸

¿Un balance de nutrientes orgánicos cercano al equilibrio?

En la Tabla 6 contrastamos los nutrientes extraídos por los cultivos, o perdidos a través de otros procesos, con dos estimaciones diferentes de su reposición por medio de diversos métodos de fertilización: a) una cantidad máxima potencial de N-P-K que el balance de masa nos dice que debería estar en algún lugar del agroecosistema local; y b) la fracción que creemos que realmente podía depositarse en el suelo, descontando las pérdidas materiales experimentadas por esos métodos de fertilización: los montones de estiércol, pozos negros, letrinas, *formiguers*, el entierro de biomasa fresca, el cultivo de leguminosas o el abono verde. Ese balance no tiene como objetivo evaluar con precisión cada flujo de nutrientes movido por el ganado, la mano de obra agrícola y los procesos naturales en fincas o parcelas. Algunos flujos de menor importancia han sido omitidos, al igual que las pérdidas por erosión (que podrían compensarse por la acumulación de sedimentos en otras tierras cercanas, dependiendo de la escala de análisis). Tampoco hemos asignado valores a los procesos de mineralización en el suelo, o al posible aumento obtenido en la fijación de nitrógeno atmosférico mediante la estimulación de la actividad bacteriana libre a través de *formiguers*. Pero aun admitiendo un cierto margen de error, que solo podrá reducirse mediante la calibración futura y la comparación con otros balances, pensamos que la utilidad de esa evaluación radica en su función heurística.

TABLA 6
FLUJOS ANUALES DE EXTRACCIÓN Y REPOSICIÓN DE NUTRIENTES
EN LAS TIERRAS DE CULTIVO DE SENTMENAT HACIA 1860-1865

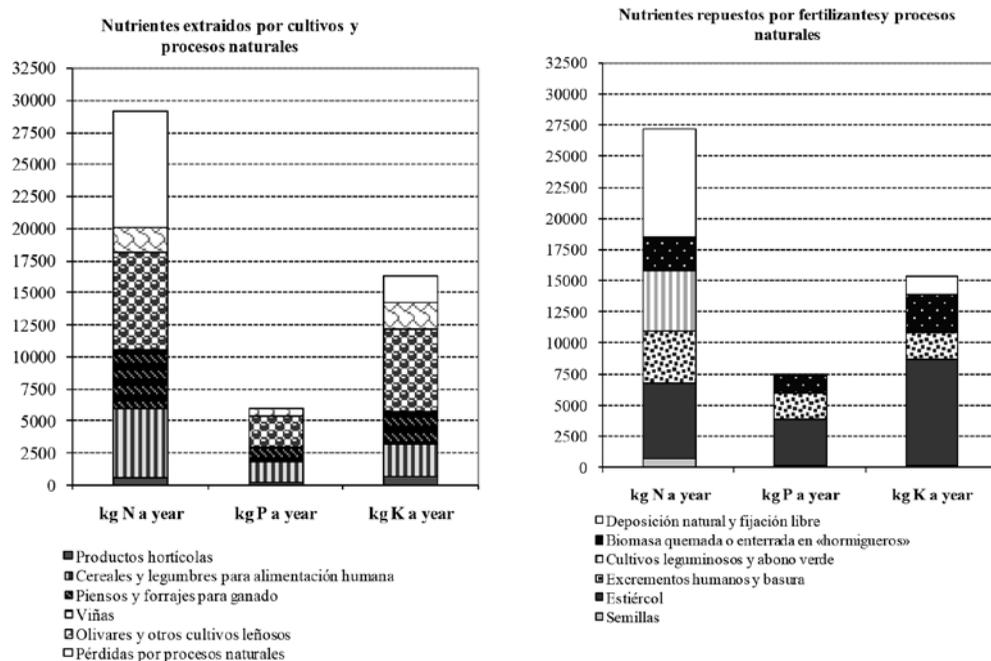
6.1. Contenido de nutrientes de los flujos materiales (N, P, K en kg por año)						
	contenido de N	contenido de P	contenido de K			
1. Deposición atmosférica natural	1.132	0	1.455			
2. Fijación de N por bacterias libres en el suelo	7.584	0	0			
3. Semillas	769	140	205			
4. Estiércol disponible total	12.164	3.892	10.704			
5. Estiércol finalmente aplicado al suelo	6.082	3.776	8.563			
6. Fijación de N a través de plantas leguminosas	3.835	0	0			
7. Nutrientes enterrados mediante abono verde	1.371	116	912			
8. Fijación de N atmosférico por abono verde	973	0	0			
9. Otra biomasa enterrada	2.699	1.349	2.423			
10. Excrementos humanos disponibles	7.030	1.268	1.914			
11. Excrementos humanos finalmente aplicados	3.515	1.230	1.531			
12. Basuras domésticas y municipales	664	918	566			
13. <i>Formiguers</i> quemados e incorporados	0	30	606			
I=1+2+3+5+6+8+11+12+13						
I. ENTRADA EFECTIVA DE NUTRIENTES	27.253	7.443	15.349			
A. Pérdidas por procesos naturales	9.049	0	2.051			
B. Nutrientes extraídos por los cultivos	20.195	5.971	14.332			
II. SALIDA DE NUTRIENTES (A+B)	29.244	5.971	16.383			
Balance con entrada efectiva de nutrientes (I-II)	-1.991	1.472	-1.034			
6.2. Flujos de nutrientes por unidad de superficie (kg por ha y año de N, P, K o en % del total extraído)						
	N/ha	%N	P/ha	%P	K/ha	%K
1. Deposición atmosférica natural	0,7	3,9	0,0	0,0	0,9	8,9
2. Fijación de N por bacterias libres en el suelo	4,7	25,9	0,0	0,0	0,0	0,0
3. Semillas	0,5	2,6	0,1	2,3	0,1	1,3
4. Estiércol disponible total	7,5	41,6	2,4	65,2	6,6	65,3
5. Estiércol finalmente aplicado al suelo	3,8	20,8	2,3	63,2	5,3	52,3
6. Fijación de N a través de plantas leguminosas	2,4	13,1	0,0	0,0	0,0	0,0
7. Nutrientes enterrados mediante abono verde	0,8	4,7	0,1	1,9	0,6	5,6
8. Fijación de N atmosférico por abono verde	0,6	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0
9. Otra biomasa enterrada	1,7	9,2	0,8	22,6	1,5	14,8
10. Excrementos humanos disponibles	4,3	24,0	0,8	21,2	1,2	11,7
11. Excrementos humanos finalmente aplicados	2,2	12,0	0,8	20,6	0,9	9,3
12. Basuras domésticas y municipales	0,4	2,3	0,6	15,4	0,4	3,5
13. <i>Formiguers</i> quemados e incorporados	0,0	0,0	0,0	0,5	0,4	3,7
I=1+2+3+5+6+8+11+12+13						
I. ENTRADA EFECTIVA DE NUTRIENTES	16,9	100,0	4,6	100,0	9,5	100,0
A. Pérdidas por procesos naturales	5,6	30,9	0,0	0,0	1,3	12,5
B. Nutrientes extraídos por los cultivos	12,5	69,1	3,7	100,0	8,9	87,5
II. SALIDAS DE NUTRIENTES (A+B)	18,1	100,0	3,7	100,0	10,1	100,0
Balance con entrada efectiva de nutrientes (I-II)	-1,2	-6,8	0,9	24,7	-0,6	-6,3

Fuente: Elaboración propia a partir de las tablas anteriores.

Creemos que este balance nos ayuda a revelar algunos rasgos básicos del esfuerzo de la comunidad campesina local para cerrar el flujo de nutrientes en una agricultura orgánica altamente intensiva de tipo mediterráneo. A pesar de sus imprecisiones e incertidumbres, nos permite obtener algunos resultados. En primer lugar, la cantidad de nutrientes disponibles para sostener la fertilidad de las tierras de cultivo podría haber sido lo suficientemente grande como para reponer los principales macronutrientes extraídos del suelo por los cultivos y los procesos naturales, siempre y cuando la eficiencia en el procesamiento de estiércol y excrementos humanos no fuera inferior al 50% en N, 90% en P y 80% en K. Ello también presupone una elevada intensidad de mano de obra destinada a hacer *formiguers* o enterrar la biomasa fresca necesaria para importar nutrientes (principalmente K) desde las áreas incultas hacia las tierras en cultivo.

Tal como se observa en la Figura 4, si tales suposiciones cambiaran –por ejemplo, considerando una pérdida superior al 50% de contenido de N en el manejo del estiércol y la reutilización de excrementos- la cantidad total de nutrientes extraídos no se repondría. Por otro lado, sabemos que las pérdidas de N en los montones de estiércol podrían reducirse hasta solo un 30%, si el piso del establo se pavimentaba y el proceso de compostaje era manejado con precisión, según los resultados obtenidos por el ingeniero agrónomo²⁹ en una granja experimental española a principios del siglo XX.

FIGURA 4
RESUMEN DEL BALANCE DE NUTRIENTES EN EL
MUNICIPIO DE SENTMENAT EN 1861-1865



Fuente: Elaboración propia a partir de las tablas anteriores.

Sea como fuere, no estamos asumiendo que la fertilización efectiva siempre se equilibrara con las extracciones de los cultivos en cada finca o parcela. Un aspecto muy importante, que se esconde detrás de las cifras promedio, es hasta qué punto la desigualdad social suponía una disponibilidad diferente del estiércol disponible a través del ganado y las letrinas, o de la biomasa procedente de los bosques y matorrales. Aunque el potencial máximo de los fertilizantes disponibles fuera probablemente suficiente para no menguar la fertilidad del suelo a escala municipal, tenemos datos históricos más que suficientes para creer que los aparceros vitícolas pobres incurrieron en una minería del suelo de sus viñedos, debido a la falta de acceso a los nutrientes necesarios. Así pues, la desigualdad era el mayor problema, no la capacidad de fertilización orgánica del agroecosistema en su conjunto.

Este primer resultado se puede interpretar a la luz de lo que Barry Commoner³⁰ consideró como un principio básico del funcionamiento de cualquier ecosistema: “*todo va a parar a algún lugar*”. En un sistema agrario de base orgánica, esos lugares donde los nutrientes “iban a parar” no se encontraban muy lejos. Nuestro balance muestra, por ejemplo, que una parte significativa de K se obtenía del entierro o la quema de biomasa en *formiguers*. Por tanto, cualquier déficit restante de K podría haber sido cubierto probablemente con un aumento del trabajo y de la biomasa empleada en fabricar y quemar *formiguers*.

Al observar las tablas 4 y 5 aparece otra cuestión importante que merece ser recalçada. La proporción de tierras de cultivo dedicadas a cultivar pienso y forraje podía mantenerse relativamente baja gracias al papel desempeñado en la alimentación del ganado por la reutilización de subproductos agrícolas y los pastos naturales. Esta ecoeficiencia material requería un cuidadoso manejo integrado entre las tierras de cultivo, los terrenos incultos y la cría de ganado. Dicha integración paisajística era también un factor clave para mantener la eficiencia energética del agroecosistema.³¹

Discusión y conclusiones

Estos resultados concuerdan con el grado de especialización vitivinícola alcanzado en Sentmenat hacia 1860-1865. Dos tercios de la superficie cultivada se dedicaban a viñedos, y eso permitía un ahorro considerable de N y P. La importación de unos 1.556 Hl de trigo por año, junto con ciertas cantidades de pescado salado y arroz, suponía un aumento anual de 2.561 kg de N, 433 kg de P y 459 kg de K que se acumulaba en los excrementos. Mientras que el contenido de N en el vino exportado era insignificante, el P absorbido anualmente por las vides suponía unos 414 kg, y el K en torno a 2.070 kg. Gracias a ello, la balanza comercial de nutrientes comportaba una ganancia neta de unos 2.561 kg de N al año, y de 433 kg de P, junto a una pérdida neta de 1.611 kg de K por año. Por tanto, la aparente “sostenibilidad” que aquella disponibilidad máxima de nutrientes habría permitido, también dependía de la ganancia de N y P a costa de una ligera pérdida de K a través del intercambio comercial con el exterior.³²

Sin embargo, una cosa era el máximo potencial de nutrientes disponibles en el agroecosistema local, y otra distinta la capacidad de recogerlos y reintroducirlos en las tierras de cultivo. La mayoría de nuestras dudas surgen cuando tomamos en consideración la

diferencia entre la disponibilidad potencial y efectiva de nutrientes. Teniendo en cuenta las pérdidas del procesamiento de estiércol animal o humano antes citadas, llegamos a una segunda conclusión: la disponibilidad real de estiércol animal y desechos humanos cubriría tan solo el 33% de N, el 84% de P y el 62% de K requerido para reponer las extracciones realizadas por los cultivos. Por tanto, el mantenimiento de la fertilidad del suelo cultivado dependería de si otras formas de fertilización orgánica podían cubrir o no aquella diferencia. Dos de ellas se destacan: la fijación simbiótica de N mediante cultivos leguminosos, o su uso como abono verde, lo que podría haber cubierto un 16% de las extracciones; y el K obtenido por enterramiento o quema de biomasa en *formiguers*, que debería haber cubierto aproximadamente un 14% del K necesario para equilibrar el agroecosistema local hacia 1860-1865.

En otras palabras, y a pesar de ser ciertas las quejas de los agrónomos sobre la insuficiente densidad ganadera y el poco estiércol aplicado, había otras opciones para que una agricultura orgánica de tipo mediterráneo tan intensiva como aquella pudiera importar otros nutrientes de las tierras no cultivadas cercanas. Sin embargo, dichas alternativas eran altamente intensivas en trabajo. Llegamos, entonces, a una tercera conclusión: el principal factor limitante para obtener nutrientes orgánicos no era solo biofísico, sino técnico y económico. En lugar del máximo potencial de N-P-K disponible en el agroecosistema, lo que más importaba era la capacidad real para recuperarlos como fertilizantes, teniendo en cuenta la cadena de pérdidas sufridas en las pilas de estiércol, letrinas, pozos negros, cloacas y *formiguers*. Un factor limitante clave era la cantidad de mano de obra humana y fuerza de tiro animal necesaria para tal fin. Y otro factor social determinante era la desigualdad en la posesión del ganado, o el acceso a la biomasa forestal y las letrinas urbanas.

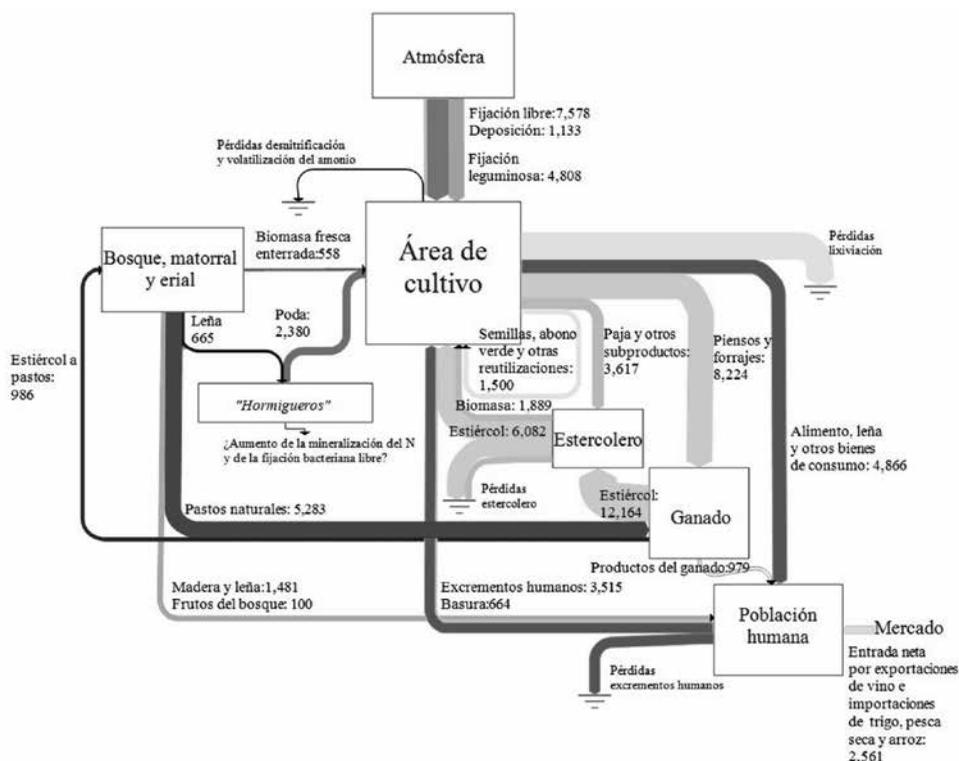
Había, en última instancia, ciertos límites agroecológicos inherentes a cualquier economía agraria de base orgánica que buscara aumentar los rendimientos sin sobrepasar los recursos renovables disponibles a escala local o regional. Antes de llegar a esos límites, aún quedaban algunas posibilidades para incrementar los cultivos leguminosos y usarlos como abono verde, pues en 1860-1865 solo cubrían una cuarta parte de las tierras de cultivo. Una vez más, los factores limitantes parecen haber sido aquí más de tipo socioeconómico que agroecológico. Es verdad que para cultivar leguminosas debía superarse de algún modo el estrés hídrico propio del Mediterráneo, pero esto podía lograrse hasta cierto punto aumentando la capacidad de retención del agua de los suelos a través del incremento de su contenido de materia orgánica, o mediante riego temporal y permanente. Otra opción era la especialización en cultivos leñosos, que requieren menos agua y extraen menos nutrientes del suelo. Sin embargo, todas esas alternativas necesitaban mejoras en la tierra e inversiones intensivas en el factor trabajo, y estas, a su vez, tenían costes de oportunidad de acuerdo con la rentabilidad relativa en el mercado de sus usos alternativos.

En cuarto lugar, la posibilidad de aumentar los rendimientos agrícolas a través de una fertilización orgánica más intensa era ya muy limitada, a menos que los usos del suelo cambiaran profundamente en la dirección señalada por los agrónomos. Es decir, incrementando la superficie sembrada con cultivos leguminosos y usándolos como abono verde o aumentando los forrajes, la ganadería y el estiércol disponible. Sin embargo,

y hasta cierto punto, tales cambios en los usos del suelo se enfrentaban con las limitaciones hídricas del entorno mediterráneo, o bien, con las oportunidades reales de mercado para reasignar la tierra a cultivos leñosos comerciales.³³

Finalmente, el balance de nutrientes de Sentmenat en 1860-1865 pone de relieve un aspecto crucial que merece ser enfatizado: el mantenimiento de la fertilidad de las tierras de cultivo solo era posible a través de una transferencia permanente de nutrientes desde las áreas no cultivadas de bosque, matorral y pastizal. Este era, por supuesto, un aspecto fundamental de cualquier sistema agrícola de base orgánica tradicional. Lo que se destaca en este caso de estudio es el menor papel jugado por el ganado en dicha transferencia, en comparación con el papel clave desempeñado por el trabajo humano en el cultivo de leguminosas y abonos verdes, y en la transferencia de nutrientes de los bosques y matorrales mediante la quema de *formiguers* o el entierro de biomasa en las tierras de cultivo. La ganadería solo trasladaba una pequeña parte de aquellos nutrientes, mientras que el trabajo humano debía hacer el resto. Ese era un rasgo clave de las agriculturas orgánicas mediterráneas, que contrasta con otras biorregiones europeas en la misma época (Figura 5).

FIGURA 5
FLUJOS ANUALES DE N EN EL MUNICIPIO DE SENTMENAT HACIA 1861-1865



Fuente: Elaboración propia a partir de las tablas anteriores. Los flujos de mercado se basan en información histórica sobre la producción, consumo y exportación e importación local de alimentos básicos a través del ferrocarril y otros medios de transporte. Xavier Cussó y Ramón Garrabou, "La transició nutricional a la Catalunya contemporània, 1780-1936. Una primera aproximació", *Recerques*, 47-48 (2004): 51-80. <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2253069>.

Llegamos así a nuestra quinta y última conclusión: los abonos orgánicos alternativos al estiércol animal jugaron un papel clave –aunque pequeño en términos absolutos- en la transferencia de nutrientes desde las zonas no cultivadas hacia las tierras de cultivo. Además de ser altamente intensivas en trabajo, esas transferencias impusieron un tributo de nutrientes relevante sobre las áreas de bosque o matorral, sobre todo en términos de K, que se añadía a la extracción simultánea de madera, leña o carbón. El mantenimiento de la fertilidad del suelo cultivado estaba estrechamente relacionado con la sostenibilidad de este uso múltiple del bosque, que a partir de un cierto punto podría haber sido sobreexplotado. Las fotografías tomadas durante el primer tercio del siglo XX muestran una cubierta forestal muy menguada y poco densa. En esa época, los bosques se habían reducido a un mínimo histórico en Cataluña, y en toda España: los terrenos forestales ocupaban solo un 15% de la superficie del país en 1915,³⁴ o alrededor del 20% en 1955.³⁵

TABLA 7
RESUMEN DE LAS ESTIMACIONES Y FUENTES

<i>Asunto</i>	<i>Fuente</i>	<i>Estimación</i>
1. Deposición atmosférica natural anual	Modelo MOGUNTIA en: Elisabeth A. Holland, Frank J. Dentener, Bobby H. Braswell y James M. Sulzman, “Contemporary and pre-industrial global reactive nitrogen budgets”, <i>Biogeochemistry</i> (U.S.) 46, n. 1-3 (1999): 33-36; doi:10.1007/BF01007572.	0.7 kg N/ha
2. Fijación anual libre de N por bacterias en el suelo	David J. Connor, Robert S. Loomis y Kenneth G. Cassman, <i>Crop ecology: productivity and management in agricultural systems</i> (Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press, 1992). P. M. Berry, E. A. Stockdale, R. Sylvester-Bradley, L. Philipps, K. A. Smith, E. I. Lord, C. A. Watson y S. Fortune, “N, P and K budgets for crop rotations on nine organic farms in the UK”, <i>Soil Use and Management</i> (Inglaterra) 19, n. 2 (junio 2003): 112-118; doi:10.1016/j.agee.2007.01.023.	1-5 kg N/ha
Pesos medios de ganado vivo	Censo de ganadería de 1865 y supuestos de: Xavier Cussó, Ramón Garrabou y Enric Tello, “Social metabolism in an agrarian region of Catalonia (Spain) in 1860-70: flows, energy balance and land use”, <i>Ecological Economics</i> (Holanda) 58 (2006): 49-65; doi:10.1016/j.ecolecon.2005.05.026. Xavier Cussó, Ramón Garrabou, José Ramón Olarieta y Enric Tello, “Balances energéticos y usos del suelo en la agricultura catalana: una comparación entre mediados del siglo XIX y finales del siglo XX”, <i>Historia Agraria</i> , 40 (2006): 471-500. http://www.historiaagraria.com/numero.php?n=40 .	Ganadería: 371 kg Caballar y Mular: 326 kg Asnal: 172 kg Ovino: 30 kg Cabral: 34 kg Cerdas: 77 kg Aves de corral: 2 kg
Producción de estiércol media diaria por cabeza de ganado	Joaquín de Aguilera, <i>Teoría y práctica de los abonos</i> (Barcelona, España: Librería de Francisco Puig, 1906). E. López Sánchez, <i>Economía Agrícola: nociones elementales</i> (Madrid, España: Imp. Gutenberg, 1910), 318. José Cascón y Martínez, <i>El estiércol y la alimentación animal</i> (Madrid, España: Imprenta Alrededor del Mundo, 1918). A. Matons, A. (1923). <i>La sansa com adob</i> , <i>Publicacions divulgadores dels Serveis Tècnics d'Agricultura de la Mancomunitat de Catalunya</i> , (Barcelona, España: s.e., 1923).	Caballar y Mular: 22 kg Asnal: 8 kg Bovino: 34,2 kg Ovino y cabral: 2,3 kg Cerdas: 6,5 kg Aves de corral: 0,137 kg

4. Composición del estiércol (peso fresco)	E. López Sánchez, <i>Economía Agrícola: nociones elementales</i> (Madrid, España: Imp. Gutenberg, 1910), 318. José Cascón y Martínez, <i>El estiércol y la alimentación animal</i> (Madrid, España: Imprenta Alrededor del Mundo, 1918). Samuel Tisdale y Werner Nelson, <i>Soil Fertility and Fertilizers</i> (New York, U.S.: Macmillan, 1956).	0,50% N 0,16% P 0,44% K
4 y 11. Pérdidas durante el compostaje de la biomasa, y el almacenamiento en pilas del estiércol y las aguas residuales humanas	José Cascón y Martínez, <i>El estiércol y la alimentación animal</i> (Madrid, España: Imprenta Alrededor del Mundo, 1918). Joaquín de Aguilera, <i>Teoría y práctica de los abonos</i> (Barcelona, España: Librería de Francisco Puig, 1906). Pedro Urbano Terrón, <i>Tratado de fitotecnia general</i> (Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa, 1989).	50% N o 30 % N 0,3% P 20% K
Fertilizantes fabricados	Ramón Garrabou y Jordi Planas (eds.), <i>Estudio Agrícola del Vallès (1874)</i> (Granollers, España: Museu de Granollers, 1998).	Pequeña capacidad de los productores. Escasas importaciones de guano y fertilizantes industriales. Así que no lo tenemos en consideración.
6 y 8. Fijación simbiótica de N	Manuel González de Molina, Gloria Guzmán Casado, Roberto García, David Soto, A. Herrera y Juan Infante, “Claves del crecimiento agrario: la reposición de la fertilidad en la agricultura andaluza de los siglos XVIII y XIX”, en: <i>La reposición de la fertilidad en los sistemas agrarios tradicionales</i> , (eds.) Ramón Garrabou y Manuel González de Molina (Barcelona, España: Icaria Editorial, 2010), 127-170. Manuel González de Molina, Roberto García Ruiz, Gloria Guzmán Casado, David Soto Fernández y Juan Infante Amate, “Guideline for constructing nutrient balance in historical agricultural systems and its application to three case-studies in Southern Spain”, <i>Sociedad Española de Historia Agraria (SEHA) - Documentos de Trabajo</i> , 1008, (septiembre 2010). http://ideas.repec.org/p/seh/wpaper/1008.html .	Contenido de N de la atmósfera: 60% Contenido de N en el grano: 3,5% Contenido de N en biomasa aérea: 62% Contenido de N en las raíces: 33% N depositado en el suelo por las raíces: 18% del N total fijado
10 y 12. Basura y excrementos de origen humano	Francisco José Mataix Verdú, <i>Nutrición y alimentación humana</i> (Madrid, España: Ergon, 2002). Joel A. Tarr, “From city to farm: urban wastes and the American farmer”, <i>Agricultural History</i> , 49 (octubre 1975): 598-612; http://www.jstor.org/pss/3741486 . T. S. Schmid-Neset, <i>Environmental Imprint of Human Food Consumption: Linköping, Sweden (1870-2000)</i> (Linköping, Suecia: Linköping University, 2005), 95. P. García Faria, <i>Proyecto de saneamiento del subsuelo de Barcelona: alcantarillado, drenaje, residuos urbanos, Vol. I.</i> (Barcelona, España: Imprenta de Henrich y Comp., 1893).	Basura: 57 kg/habitante
13. <i>Formiguers</i>	José Ramón Olarieta, R. Padró, G. Massip, R. Rodríguez-Ochoa, E. Vicedo y Enric Tello, “«Formiguers», a historical system of soil fertilization (and biochar production?)”, <i>Agriculture, Ecosystems and Environment</i> (Suiza) 140, n. 1-2 (enero 2011): 27-33; doi:10.1016/j.agee.2010.11.008.	- La capa de tierra del <i>formiguer</i> proviene de la misma área cultivada. - Cada formiguer se hace con un promedio de 68 kg de biomasa leñosa. - Como resultado de la combustión tenemos 2,5 kg de carbón y 2,5 de cenizas. - La composición de las cenizas del <i>formiguer</i> es la misma que si el mismo tipo de biomasa leñosa fuera quemada en otra parte. - Están formados, en partes iguales, por la poda y cortes de madera y arbustos.

<p>A. Pérdidas naturales medias</p>	<p>L. E. Drinkwater, P. Wagoner y M. Sarrantonio, "Legume-based cropping systems have reduced carbon and nitrogen losses", <i>Letters to Nature</i>, 396 (noviembre 1998). J. N. Galloway, F. J. Dentener, D. G. Capone, E. W. Boyer, R. W. Howarth, S. P. Seitzinger, G. P. Asner, C. C. Cleveland, P. A. Green, E. A. Holland, D. M. Karl, A. F. Michaels, J. H. Porter, A. R. Townsend y C. J. Vörösmarty, "Nitrogen cycles: past, present and future", <i>Biogeochemistry</i> (U.S.) 70 (2004): 153-226; doi:10.1007/s10533-004-0370-0. C. Jambert, D. Serça y R. Delmas, "Quantification of N-losses as NH₃, NO, and N₂O and N₂ from fertilized maize fields in south-western France", <i>Nutrient Cycling in Agroecosystems</i> (Alemania) 48 (1997): 91-104; doi: 10.1023/A:1009786531821. C. Kosmas, N. Danalatos, L. H. Cammeraat, M. Chabart, J. Diamantopoulos, R. Farand, L. Gutierrez, A. Jacob, H. Marques, J. Martinez-Fernandez, A. Mizara, N. Moustakas, J. M. Nicolau, C. Oliveros, G. Pinna, R. Puddu, J. Puigdefabregas, M. Roxo, A. Simao, G. Stamou, N. Tomasi, D. Usai y A. Vacca, "The effect of land use on runoff and soil erosion rates under Mediterranean conditions", <i>Catena</i> (U.S.) 29, n. 1 (marzo 1997): 45-59; doi:29:45-59 S0341-8162(96)00062-8. W. J. Parton, D. S. Ojima y D. S. Schimel, "Models to evaluate soil organic matter storage and dynamics", en: <i>Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soils. Advances in Soil Science</i>, (editores) Martin R. Carter y Bobby Alton Stewart (Boca Raton, Florida, U.S.: Lewis Publishers, 1996), 421-448. Gianfranco Rana y Marcello Mastrorilli, "Ammonia emissions from fields treated with green manure in a Mediterranean climate", <i>Agriculture and Forest Meteorology</i> (U.S.) 90, n. 4 (abril 1998): 165-174; doi:10.1016/S0168-1923(98)00060-4. Thomas Rosswall y Keith Paustian, "Cycling of nitrogen in modern agricultural systems", <i>Plant and Soil</i> (Australia) 76 (1984): 3-21; doi:10.1007/BF02205563. Samuel Tisdale y Werner Nelson, <i>Soil Fertility and Fertilizers</i> (New York, U.S.: Macmillan, 1956). J. Torrent, E. Barberil y F. Gil-Sotres, "Agriculture as a source of phosphorus for eutrophication in southern Europe", <i>Soil Use and Management</i> (Inglaterra) 23, n. 1 (septiembre 2007): 25-35; doi:10.1111/j.1475-2743.2007.00122.x.</p>	<p>Lixiviación: 5,5 kg N/ha Desnitrificación: 1,5 kg N/ ha de regadío Volatilización de amoníaco: 5% de las entradas de N por abono verde</p>
<p>B. Composición de NPK de los nutrientes extraída por los cultivos</p>	<p>J. M. Soroa, <i>Catecismo del agricultor y el ganadero nº 10. Los abonos baratos</i> (Barcelona, España: Ed. Espasa Calpe, 1934). CESNID, <i>Tablas de composición de los alimentos del Centre d'Ensenyament Superior en Nutrició i Dietètica</i> (Barcelona, España: Edicions Universitat de Barcelona, Barcelona, 2003), 223. Francisco José Mataix Verdú, <i>Nutrición y alimentación humana</i> (Madrid, España: Ergon, 2002), 1993. Olga Moreiras Tuní, Ángeles Carbajal y L. Cabrera, <i>Tablas de composición de alimentos</i> (Madrid, España: Pirámide, 1997), 140.</p>	

Fuente: Elaboración propia a partir de las tablas previas. (El número del asunto se corresponde con los números de la Tabla 6).

Agradecimientos

Este trabajo ha sido desarrollado en el proyecto HAR2009-13748-C03-01HIST sobre *Historia Ambiental de los Paisajes Agrarios del Mediterráneo* financiado por el Ministerio Español de Educación y Ciencia. Una primera versión fue presentada en la sesión 3.5 sobre “*Sustainable agricultural systems: historical soil fertility and farm management*” del Primer Congreso Mundial de Historia Ambiental (WCEH2009). Los primeros datos fueron revisados en profundidad por Elena Galán con el programa “*Manager of Energy and Nutrient Balances of Agricultural Systems*” (MENBAS). Esta herramienta de contabilidad sociometabólica se está desarrollando actualmente en la Universidad de Barcelona, y pronto se ofrecerá como un recurso de acceso abierto en nuestra página web: <http://www.ub.edu/histeco/p2/eng/index.php>. Muchas referencias de las fuentes históricas se han suprimido en aras de la brevedad, y se pueden encontrar en el libro español editado por Garrabou y González de Molina o en otras publicaciones de nuestro equipo citadas en notas a pie de página. Agradecemos a Joan Romanyà, Míriam Burriel, Mar Grasa y Marià Alemany de la Universidad de Barcelona, y a Roberto García de la Universidad de Jaén, sus útiles comentarios y correcciones.

Notas

- 1 Xavier Cussó, Ramón Garrabou y Enric Tello, “Social metabolism in an agrarian region of Catalonia (Spain) in 1860-70: flows, energy balance and land use”, *Ecological Economics* (Holanda) 58 (2006): 49-65; doi:10.1016/j.ecolecon.2005.05.026. Xavier Cussó, Ramón Garrabou, José Ramón Olarieta y Enric Tello, “Balances energéticos y usos del suelo en la agricultura catalana: una comparación entre mediados del siglo XIX y finales del siglo XX”, *Historia Agraria*, 40 (2006): 471-500. <http://www.historiaagraria.com/numero.php?n=40>. Enric Tello, Ramón Garrabou y Xavier Cussó, “Energy Balance and Land Use: The Making of and Agrarian Landscape from the Vantage Point of Social Metabolism (the Catalan Vallès county in 1860/70)”, en: *The Conservation of Cultural Landscapes*, (ed.) Mauro Agnoletti (Wallingford, Inglaterra: CAB International, 2006), 42-56. Enric Tello, Ramón Garrabou, Xavier Cussó y José Ramón Olarieta, “Una interpretación de los cambios de uso del suelo desde el punto de vista del metabolismo social agrario. La comarca catalana del Vallès (1853-2004)”, *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 7 (2008): 97-115. http://www.redibec.org/IVO/rev7_06.pdf.
- 2 Marc Badia-Miró, Enric Tello, Francesc Valls y Ramón Garrabou, “The Grape Phylloxera Plague as a Natural Experiment: the upkeep of vineyards in Catalonia (Spain, 1858-1935)”, *Australian Economic History Review* (Australia) 50, n. 1 (marzo 2010): 39-61; doi: 10.1111/j.1467-8446.2009.00271.x.
- 3 Ramón Garrabou, Enric Tello y Xavier Cussó, “Ecological and Socio-economic functioning in the middle of the nineteenth century. A Catalan case study (the Vallès county (1850-70)”, en: *Agrosystems and Labour Relations in European Rural Societies (Middle Ages-Twentieth Century)*, (eds.) Erich Landsteiner y Ernst Langthaler (Turnhout, Bélgica: Brepols, 2010), 119-154. El lector o lectora interesados en esos aspectos socioinstitucionales encontrará desarrollado en este capítulo el análisis resultante de cruzar los datos censales, catastrales y del padrón municipal de este municipio a mediados del siglo XIX, aplicando la metodología del *Land-Time Budget Analysis*. También encontrará las correspondientes referencias de archivo de las fuentes empleadas.
- 4 Robert McC. Netting, *Smallholders, Householders: farm families and the ecology of intensive, sustainable agriculture* (Stanford, U.S.: Stanford University Press, 1993), 389. Jan Douwe Van Der Ploeg, *The New Peasantries: Struggles for autonomy and sustainability in an era of empire and globalization* (Londres, Inglaterra: Earthscan, 2008), 356.

- 5 Véanse, por ejemplo, J. B. Foster, “Marx’s theory of the metabolic rift: classical foundations for environmental sociology”, *American Journal of Sociology* (Estados Unidos) 105, n. 2 (septiembre 1999): 366-405. <http://www.jstor.org/stable/10.1086/210315>, y H. Friedmann, “What on earth is the modern world-system? Foodgetting and territory in the modern era and beyond”, *Journal of World-Systems Research* (Estados Unidos) 1, n. 2 (2000): 480-515. <http://www.chass.utoronto.ca/sociology/harriet.friedmann@utoronto.ca>. Para el papel del campesinado como amortiguador de la brecha sociometabólica véanse: M. Schneider y P. H. McMichael, “Deepening, and repairing the metabolic rift”, *The Journal of Peasant Studies* (Inglaterra) 37, n.3 (Julio 2010): 461-484. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/03066150.2010.494371>, y Manuel González de Molina y V. Toledo, *Metabolismos, naturaleza e historia. Hacia una teoría de las transformaciones socioecológicas* (Barcelona, España: Editorial Icaria, 2012), 376.
- 6 Marc Badia-Miró, et al.
- 7 Ramón Garrabou, Enric Tello, Xavier Cussó y Marc Badia-Miró, “Explaining agrarian specialization in an advanced organic economy: The province of Barcelona in mid-nineteenth century”, en: *Markets and Agricultural Change in Europe from the Thirteenth to the Twentieth Century*, (ed.) Vicente Pinilla (Turnhout, Bélgica: Brepols, 2009), 137-171.
- 8 José Ramón Olarieta, F. L. Rodríguez-Valle y Enric Tello, “Preserving and destroying soils, transforming landscapes: Soils and land-use changes in the Vallès County (Catalunya, Spain) (1853-2004)”, *Land Use Policy* (Australia) 25, n. 4 (octubre 2008): 474-484; doi:10.1016/j.landusepol.2007.10.005.
- 9 Enric Tello y Marc Badia-Miró, “Land-use profiles of agrarian income and land ownership inequality in the province of Barcelona in mid-nineteenth century”, *Sociedad Española de Historia Agraria (SEHA) - Documentos de Trabajo*, 11-01 (enero 2011). <http://ideas.repec.org/p/seh/wpaper/1101.html>.
- 10 Rolf Peter Sieferle, *The Subterranean Forest. Energy Systems and the Industrial Revolution* (Cambridge, Inglaterra: The White Horse Press, 2001), 230. Edward Anthony Wrigley, *Poverty, Progress, and Population* (Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press, 2004).
- 11 E. Tello, et al., “Energy Balance and Land Use...” E. Tello, et al., “Una interpretación de los cambios...”. J. Marull, J. Pino y E. Tello, “The loss of landscape efficiency: An ecological analysis of land-use changes in Western Mediterranean agriculture (Vallès county, Catalonia, 1853-2004)”, *Global Environment. A Journal of History and Natural and Social Sciences*, 2 (2008): 112-150; <http://www.globalenvironment.it/marull-pino-tello.pdf>
- 12 Fridolin Krausmann, “Milk, Manure and Muscular Power: Livestock the Transformation of Preindustrial Agriculture in Central Europe”, *Human Ecology* (U.S.) 32, n. 6 (2004): 735-772; doi: 10.1007/s10745-004-6834-y.
- 13 Geoff Cunfer y Fridolin Krausmann, “Sustaining Soil Fertility: Agricultural Practice in the Old and New Worlds”, *Global Environment. A Journal of History and Natural and Social Sciences*, 4 (2009): 8-47. http://www.globalenvironment.it/cunfer_krausmann.pdf.
- 14 Joaquín de Aguilera, *Teoría y práctica de los abonos* (Barcelona, España: Librería de Francisco Puig, 1906). José Cascón y Martínez, *El estiércol y la alimentación animal* (Madrid, España: Imprenta Alrededor del Mundo, 1918). B. H. Slicher van Bath, *Agrarian History of Western Europe: A.D. 500-1850* (Londres, Inglaterra: Arnold, 1963), 364.
- 15 Geoff Cunfer, “Manure Matters on the Great Plains Frontier”, *Journal of Interdisciplinary History* (U.S.) 34 (2004): 539-567; doi:10.1162/002219504773512534. Geoff Cunfer, *On the Great Plains. Agriculture and Environment* (Texas, U.S.: A&M University Press, 2005), 292. Ingrid C. Burke, William K. Lauenroth, Geoff Cunfer, John E. Barrett, Arvin Mosier y Petra Lowe, “Nitrogen in the Central Grasslands Region of the United States”, *BioScience* (U.S.) 52, n. 9 (2002): 813-823; doi:10.1641/0006-3568(2002)052[0813:NITCGR]2.0.CO;2.
- 16 Paul Brassley, “Plant nutrition”, en: *The Agrarian History of England and Wales*, (ed.) Joan Thirsk (Cambridge, Inglaterra: Volume VII, 1850-1914, Part I, Cambridge University Press, 2000), 533-548.
- 17 Cunfer y Krausmann, “Sustaining Soil Fertility...”.
- 18 José Ramón Olarieta, R. Padrò, G. Massip, R. Rodríguez-Ochoa, E. Vicedo y Enric Tello, “Formiguers, a historical system of soil fertilization (and biochar production?)”, *Agriculture, Ecosystems and Environment* (Suiza) 140, n. 1-2 (enero 2011): 27-33; doi:10.1016/j.agee.2010.11.008. Véase la Figura 2.

- 19 Cascón y Martínez, *El estiércol y la alimentación animal*. Samuel Tisdale y Werner Nelson, *Soil Fertility and Fertilizers* (New York, U.S.: Macmillan, 1956), 430. A. E. Johnston, "Potential changes in soil fertility from arable farming including organic systems", *Proceedings of the International Fertilizer Society*, 306 (1991): 1-38. <http://www.fertiliser-society.org/proceedings/uk/Pre306.HTM>.
- 20 John R. McNeill y Verena Winiwarter (eds.), *Soils and Societies. Perspectives from environmental history* (Isle of Harris, Escocia: The White Horse Press, 2006), 369.
- 21 A. Oberson, S. Nanzer, C. Bosshard, D. Dubois, P. Mäder y E. Frossard, "Symbiotic N₂ fixation by soybean in organic and conventional cropping systems estimated by ¹⁵N dilution and ¹⁵N natural abundance", *Plant and Soil* (Australia) 290, n. 1-2 (2007): 69-83; doi:10.1007/s11104-006-9122-3.
- 22 Josep Miret i Mestre, "Las rozas en la Península Ibérica. Apuntes de tecnología agraria tradicional", *Historia Agraria: Revista de Agricultura e Historia Rural*, 34 (2004): 165-193; <http://www.historiaa-graria.com/numero.php?n=34>
- 23 Olarieta, et al., "«Formiguers», a historical system of soil...".
- 24 Johnston, "Potential changes in soil fertility...".
- 25 C. Mestre y A. Mestres, *Aportación al estudio de la fertilización del suelo por medio de formiguers. Estación de Viticultura y Enología de Villafranca del Panades* (Madrid, España: Notebook 109, 1949).
- 26 P. Roca, *El sistema de cereal de secà i la ramaderia de les masies del Vallès Occidental entre els segles XVII i XIX* (Bellaterra, España: PhD dissertation at the Autonomous University of Barcelona, 2008).
- 27 Barón de Avalat, "Memoria sobre el cultivo de cáñamo en Valencia, por preguntas y respuestas, leida en Junta de 29 de Abril de 1777", *Memorias de la Sociedad Económica* (Madrid) 1, n. 14 (1780): 110-129.
- 28 Alfred Thomas Grove y Oliver Rackham, *The Nature of Mediterranean Europe. An Ecological History* (New Haven, U.S.: Yale University Press, 2001), 384.
- 29 Cascón y Martínez, *El estiércol y la alimentación animal*.
- 30 Barry Commoner, *The Closing Circle: confronting the environmental crisis* (Londres, Inglaterra: Jonathan Cape, 1971), 336.
- 31 Cussó, et al., "Social metabolism in an agrarian region...".
- 32 Tello, et al., "Energy Balance and Land Use...". Tello, et al., "Una interpretación de los cambios de uso del suelo...". Garrabou, et al., "Explaining agrarian specialization in an advanced organic economy...". Garrabou, et al., "Ecological and Socio-economic functioning..." Badia-Miró, et al., "The Grape Phylloxera Plague as a Natural Experiment...".
- 33 Manuel González de Molina, "Environmental constraints on agricultural growth in 19th century Granada (Southern Spain)", *Ecological Economics* (U.S.) 41, n. 2 (mayo 2002): 257-270; doi:10.1016/S0921-8009(02)00030-7. Gloria Guzmán Casado y Manuel González de Molina, "Preindustrial agriculture versus organic agriculture. The land cost of sustainability", *Land Use Policy* (Australia) 26, n. 2 (2008): 502-510; doi:10.1016/j.landusepol.2008.07.004. Manuel González de Molina, Gloria Guzmán Casado, Roberto García, David Soto, A. Herrera y Juan Infante, "Claves del crecimiento agrario: la reposición de la fertilidad en la agricultura andaluza de los siglos XVIII y XIX", en: *La reposición de la fertilidad en los sistemas agrarios tradicionales*, (eds.) Ramón Garrabou y Manuel González de Molina (Barcelona, España: Icaria Editorial, 2010), 127-170. Manuel González de Molina, Roberto García Ruiz, Gloria Guzmán Casado, David Soto Fernández y Juan Infante Amate, "Guideline for constructing nutrient balance in historical agricultural systems and its application to three case-studies in Southern Spain", *Sociedad Española de Historia Agraria (SEHA) - Documentos de Trabajo*, 1008 (septiembre 2010). <http://ideas.repec.org/p/seh/wpaper/1008.html>. Tom Vanwalleghem, Juan Infante Amate, Manuel González de Molina, David Soto Fernández y José Alfonso Gómez, "Quantifying the effect of historical soil management on soil erosion rates in olive orchards over the last 250 years", *Agriculture, Ecosystems and Environment* (Suiza) 142, n. 3-4 (2011): 341-351; doi:10.1016/j.agee.2011.06.003.
- 34 Enric Tello y C. Sudrià, C. (eds.), *El valor geográfico de España (1921)*, Emilio Huguet Del Villar (Barcelona, España: Universitat de Barcelona Pub. and Centre d'Estudis Antoni de Capmany), 390.
- 35 Elmar Schwarzmüller, "Human appropriation of aboveground net primary production in Spain, 1955-2003: An empirical analysis of the industrialization of land use", *Ecological Economics* (U.S.) 69, n. 2 (2009): 282-291; doi:10.1016/j.ecolecon.2009.07.016.