

LA REPOSICIÓN DE LA FERTILIDAD EN LA PRIMERA OLEADA DE LA TRANSICIÓN SOCIOECOLÓGICA EN LA ESPAÑA MEDITERRÁNEA. ANDALUCÍA SIGLOS XVIII-XX¹

Manuel González de Molina^{*}, *Roberto García Ruiz*^{**}, *David Soto Fernández*^{***},
Gloria Guzmán Casado^{****} *Antonio Herrera*^{*****} y *Juan Infante Amate*^{*****}

Resumen: La transición de una agricultura de base energética orgánica a una industrial ha sido estudiada fundamentalmente desde la perspectiva de los cambios en la distribución de los cultivos y rotaciones y en función del crecimiento de la población. Sin embargo, son mucho más escasos los estudios sobre el papel de los balances de nutrientes en la transición socioecológica, a pesar de que la reposición de la fertilidad fue un factor crítico para la estabilidad a largo plazo de los rendimientos. Esto es especialmente cierto para la región mediterránea donde la disponibilidad de abono del ganado ha sido históricamente baja. En este trabajo se analiza el papel de la reposición de la fertilidad en una región mediterránea, del interior del sur de España desde 1750 hasta 1900. Para ello se proporcionan datos sobre los cambios en la distribución de los cultivos, población, demanda y disponibilidad de abono, así como balances de nutrientes para cada rotación y a escala agregada municipal. Los datos sugieren que el desarrollo de la agricultura en 1752 estaba limitado por la fuerza de trabajo. La disponibilidad de abono era mayor que la demanda y los balances de nitrógeno eran positivos y solo ligeramente negativos para el fósforo y el potasio. Durante el siglo XIX, la población se incrementó, pero el ganado y la disponibilidad de abono disminuyeron. Los balances de nutrientes de este periodo son negativos, indicando que, durante el siglo XIX, la productividad agraria se sostuvo gracias a la minería de nutrientes. La ruptura del equilibrio territorial y la minería de nutrientes están detrás de la crisis de fines del siglo XIX jugando un papel fundamental en la transición socioecológica.

Palabras claves: balance de nutrientes, transición socioecológica, reposición de la fertilidad del suelo, agriculturas orgánicas.

Abstract: The transition from agriculture based on solar energy towards an industrial one involved great impacts, and usually has been study in terms of cropland distribution and changes in population. However, studies on the role of nutrient balance on the socio-ecological transition are scarce, despite that the replenishment of soil fertility was a critical factor for the long-term stability of the harvests, and this is especially true for Mediterranean region where manure

* España, Catedrático de Universidad, Área de Historia Contemporánea, Universidad Pablo de Olavide. Correo electrónico: mgonnav@upo.es

** España, Catedrático de Universidad, Área de Ecología, Universidad de Jaén. Correo electrónico: rgarcia@ujaen.es

*** España, Profesor Contratado Doctor, Área de Historia Contemporánea, Universidad Pablo de Olavide. Correo electrónico: dsotfer@upo.es

**** España, Profesora Asociada, Área de Historia Contemporánea, Universidad Pablo de Olavide. Correo electrónico: giguzcas@upo.es

***** España, Profesor Contratado Doctor, Área de Historia Contemporánea, Universidad Pablo de Olavide. Correo electrónico: ahergon@upo.es

***** España, Profesor Ayudante Doctor, Área de Historia Contemporánea, Universidad Pablo de Olavide. Correo electrónico: jin fama@upo.es

availability was low. In this study, the role of nutrient removal on that transition was evaluated in the inland Mediterranean region of south Spain between 1750 to 1900. Changes in cropland distribution, population, manure availability and demand, and cropland-nutrient balance and aggregated nutrient balance were performed. Data suggest that agriculture development at 1750 period was limited by manpower. Manure availability was higher than demanded and nitrogen balances were positive and slightly negative for phosphorus and potassium. During the 19th Century, population increased whereas livestock size, and manure availability, dropped. Nutrients balances become negative indicating that, during the 19th Century, crops productivity was based on soil mining. The territorial imbalance and marked soil mining were major reasons behind the turn of the century crisis, leading to the agrarian socio-ecological transition.

Keywords: nutrient balance; socio-ecological transition; soil fertility replenishment; past organic agricultures.

Introducción

El presente texto trata de destacar la importancia clave que la reposición de la fertilidad tuvo para la sostenibilidad de los sistemas agrarios de base orgánica. La estabilidad de las cosechas y la viabilidad del crecimiento y especialización de la producción agraria de la Europa de los siglos XVIII y XIX dependieron de una adecuada reposición de la fertilidad del suelo, tras siglos y siglos de cultivo ininterrumpido.² El texto destaca también la relevancia que la reposición de la fertilidad tuvo en el inicio de la transición socioecológica del metabolismo agrario hacia su industrialización.

Para corroborar estas hipótesis hemos estudiado las técnicas de fertilización del suelo utilizadas a lo largo de los siglos XVIII y XIX en los sistemas agrarios del sur de Europa, inmediatamente antes de la difusión de los fertilizantes químicos de síntesis. En tales sistemas, la reposición de la fertilidad fue un factor especialmente crítico para la estabilidad de las cosechas y de los necesarios equilibrios territoriales que exigía la agricultura de base orgánica.

La baja productividad primaria neta de los agroecosistemas mediterráneos redujo las posibilidades de disponer de una cabaña ganadera abundante y, por tanto, de materia orgánica suficiente para reponer todos los nutrientes exportados con la cosecha. Una parte del territorio debió consagrarse a la alimentación animal y no pudo, en consecuencia, utilizarse para otros usos. La demanda alimentaria de la población obligó a reducir al máximo ese territorio y, asimismo, a mantener cabañas ganaderas reducidas y una capacidad de fertilización también limitada. En esas condiciones, en una porción muy significativa del territorio agrícola, la fertilidad debió reponerse de manera natural, esto es mediante el barbecho. Tanto la “producción de estiércol” como el barbecho consumían tierra y suponían *costes territoriales*³ que debía “pagar” la agricultura de base orgánica y en especial la mediterránea, disminuyendo en conjunto su productividad por unidad de superficie. Otras alternativas estuvieron severamente restringidas. La posibilidad de importar alimentos, piensos de zonas circundantes o incluso abonos orgánicos con que ahorrar territorio estuvo reducida a distancias cortas -salvo que hubiera fácil acceso a la navegación fluvial o marítima- hasta bien entrada la segunda mitad del siglo XIX y, en zonas del interior español por ejemplo, con redes de carreteras y transporte deficientes, hasta bien entrado el siglo XX.

Tres estudios de caso en Andalucía

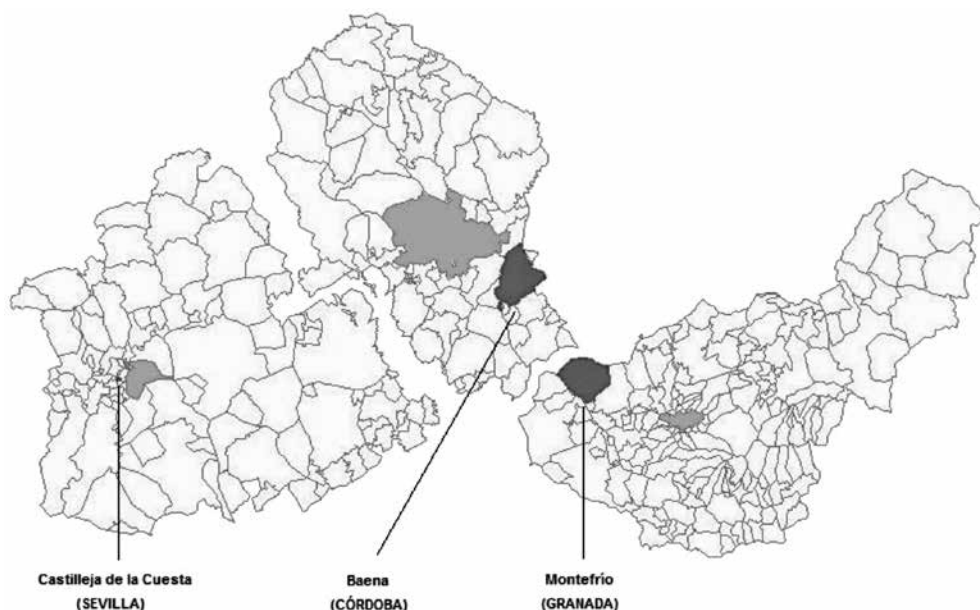
La verificación de las hipótesis exige un estudio detallado, lo que obliga a restringir su ámbito territorial. Por ello hemos tomado tres casos de estudio: Montefrío (Granada), Baena (Córdoba) y Castilleja de la Cuesta (Sevilla), representativos de tres comarcas del interior de Andalucía, tanto desde el punto de vista edafoclimático como desde el punto de vista socioeconómico. Tanto Castilleja de la Cuesta como Montefrío son municipios donde predomina la pequeña propiedad campesina. Baena, por su parte, es un municipio de predominio del latifundio, donde la forma predominante de acceso a la tierra durante el siglo XVIII y parte del XIX es el arrendamiento. Montefrío fue durante todo el periodo de estudio un territorio aislado, con pocas posibilidades de comunicación y contacto con el mercado nacional. Esto limita las posibilidades de transferencia de energía y materiales con el exterior y, por tanto, debió fundamentar la expansión de su agricultura en la demanda interna. Castilleja de la Cuesta, por su parte es un territorio muy vinculado con el mercado nacional, debido a su cercanía con el puerto de Sevilla, y a través de él también con el mercado americano. Una parte considerable de la producción se vendía fuera de su territorio. Baena se situaba en una posición intermedia. Parte de su producción (aceite y vino) se vendía fuera, aunque sus posibilidades de transporte eran más difíciles que en Castilleja. Pese a la diversidad de situaciones, las similitudes entre los tres espacios son tan relevantes que es posible hablar de una pauta evolutiva común en los usos del suelo y en el modelo de desarrollo agrario experimentado desde mediados del siglo XIX, modelo que a grandes rasgos es similar al experimentado en todo el sur de la Península Ibérica.

Baena, con una extensión de 362,51 km², se ubica al sureste de la provincia de Córdoba. Situado en el valle de Guadalquivir su territorio se extiende por la campiña cordobesa en sus límites con las Sierras Subbéticas. Cuenta con una orografía vagamente escarpada: una cuarta parte de su superficie tiene una pendiente media de entre el 3 y el 7% y, la restante, entre el 7 y el 15%. El río Guadajoz, antes de desembocar en el Guadalquivir, cruza el municipio de suroeste a oeste, y su afluente, el río Marbella, baña el propio núcleo urbano. Con un clima de tipo mediterráneo continental, tiene una precipitación de 641 mm anuales y una ETP de 1378 mm.

Montefrío, con 254 km², se sitúa en el sector central de las cordilleras Béticas, al noroeste de la provincia de Granada en la comarca de los Montes Occidentales. Con un clima también de tipo mediterráneo continental, su precipitación media anual es similar a la de Baena, de 654 mm, pero su ETP es sensiblemente menor (760 mm). La principal diferencia con Baena es su relieve escarpado y la frecuencia de las pendientes pronunciadas (10%), siendo su agroecosistema típico de una agricultura de media montaña.

Castilleja de la Cuesta está situado en el sector occidental de la provincia de Sevilla, a 5 km de la capital. Con una superficie de apenas 2,23 km², se encuentra inserto en la primera corona de la comarca del Aljarafe, extendiéndose sobre una pequeña meseta junto a la margen derecha del río Guadalquivir. Con un clima de tipo mediterráneo con clara influencia oceánica y una altitud de 96 metros sobre el nivel del mar, Castilleja tiene una precipitación de 574 mm y una ETP de 1392 mm,⁴ la mayor parte de su extensión está por debajo de 7% y solo un 16% tiene pendientes comprendidas entre el 7 y el 15%.

FIGURA 1
SITUACIÓN DE LOS TRES ESTUDIOS DE CASO



Fuente: Elaboración propia.

Evolución de los usos del suelo

La evolución de los usos del suelo (tabla 1) refleja el crecimiento significativo que experimentó la producción agraria entre 1752 y 1897 (tabla 2). En términos de materia seca, Baena incrementó su producción en un 70%, Castilleja la duplicó y Montefrío la llegó a triplicar. Los datos permiten rechazar la idea tan difundida en la historiografía española de un crecimiento exclusivamente extensivo durante estos años.⁵ Ello fue posible gracias a la ampliación de las áreas de riego, a la ampliación superficial de las rotaciones de cultivos más intensivas y al crecimiento de la superficie cultivada (tabla 1). Fue, por tanto, una estrategia mixta, de extensificación y de intensificación, pero fuertemente condicionada, como veremos, por la disponibilidad de mano de obra y de fertilizantes.

TABLA 1
EVOLUCIÓN DE LOS USOS DEL SUELO EN LOS TRES CASOS DE ESTUDIO
1752-2007 (ha)

	Montefrío			Castilleja de la Cuesta			Baena		
	1752	1852	1897	1752	1854	1897	1752	1858	1897
	Has	Has	Has	Has	Has	Has	Has	Has	Has
Regadío Constante	62,2	145,3	39,3	1,7	2,1	5,0	132,1	314,0	314,0
Regadío Eventual	9,0	26,8	58,1				25,8	40,0	40,0
Herbáceos de secano									
Ruedo	24,2	1324,3	2934,3			36,4	588,9	3267,9	3501,8
Trasruedo								3618,1	4958,8
Año y vez							3428,3	2666,7	3074,5
Tercio	7348,0	11616,4	12311,0	74,2	28,8		21978,0	17673,6	15811,3
Olivar	117,7	441,6	718,4	38,6	119,0	99,0	4897,6	9912,0	9912,0
Viña	57,8	196,4	246,1	69,3	20,1	10,2	1836,6	1569,0	1569,0
Frutales				6,8	31,0	14,9			
Superficie cultivada	7618,8	13750,8	16307,2	190,5	201,1	165,6	32887,3	39061,3	39181,4
Pastos Permanentes	13047,7		7149,5				5326,1		
Montes	3809,9		1019,7				49,0	543,0	543,0
Montes y pastos		10725,5					3321,5	1979,7	1859,6
Superficie Agraria Útil	24476,4	24476,4	24476,4	190,5	201,1	165,6	41584,0	41584,0	41584,0
Improductivo	1060,6	1060,6	1060,6	32,5	21,9	57,4	480,0	480,0	480,0
Superficie Total	25537	25537	25537	223	223	223	42064	42064	42064

Notas: La superficie consignada en algunos cortes como montes y pastos indica que es imposible diferenciar en las fuentes entre ambas categorías.

Fuentes: Archivos municipales de Montefrío, Castilleja de la Cuesta y Baena

Aunque con diferentes grados, los agroecosistemas de los tres municipios estaban explotados muy extensivamente a mediados del siglo XVIII. Las razones de carácter institucional, que según algunos autores restringieron el acceso a la tierra cultivable durante el mencionado siglo, no son de aplicación a nuestros casos de estudio.⁶ La explicación debe buscarse en las densidades de población tan bajas existentes a mediados del siglo XVIII (tabla 2), en torno a los 20 habitantes por km² en Baena y Montefrío.⁷ El principal factor limitante en este momento no fue la disponibilidad de tierra o de abono sino la escasez de mano de obra. La mayor parte de la superficie, el 28,8%, el 33,3% y el 52,5% en Montefrío, Castilleja y Baena, estaba dedicada al cultivo de cereal en una rotación al tercio. Los rendimientos eran muy bajos. A ello debemos añadir la superficie de pastos permanentes de Montefrío (51,1%), donde de forma variable se cultivaba trigo en sistema de rozas, y el 8,2% de la superficie de Baena dedicaba al trigo en año y vez. Ninguna de estas rotaciones se fertilizaba. Mucha menor extensión ocupaban los terrenos de producción intensiva con fertilización que serían los protagonistas de la centuria posterior. En el regadío se combinaban la producción de hortalizas, frutales, y, en algunos casos, cereales. La rotación de ruedo correspondía a los terrenos de secano próximos a las poblaciones donde era más factible la aplicación intensiva de trabajo y fertilización.

Mayores diferencias existían en el espacio ocupado por los cultivos leñosos. El viñedo y el olivar ocupaban un lugar marginal en Montefrío (el 0,7%), casi la mitad en Castilleja (48,4%) y el 16% en Baena. En Montefrío, los olivos estaban generalmente dispersos y tenían un carácter frutal, produciendo muy escasa cantidad de aceituna.⁸ En Castilleja de la Cuesta y en Baena se estaba aún en la fase inicial de la transición de esta forma de cultivo a una segunda fase que Calderón Espinosa denomina olivar de subsistencia o campesino. En este modelo el manejo era algo más intensivo y parte de la producción se orientaba ya al mercado.⁹ Como veremos, este proceso se acentuará a lo largo del siglo XIX.

La Revolución Liberal hizo posible a través de varias vías (repartos de tierras, desamortizaciones, roturaciones ilegales...) la expansión de las tierras cultivadas y la disminución de los terrenos dedicados a pasto. La población creció gracias, entre otros factores, a la facilidad relativa para acceder al cultivo de nuevas tierras en las primeras décadas del siglo XIX e incluso para un cultivo más intensivo o especializado de las ya existentes. La densidad poblacional se elevó de manera significativa, incrementando la presión sobre la tierra. El número de habitantes creció considerablemente en las tres localidades durante el siglo XIX, duplicándose en Castilleja y Montefrío y aumentando en un 82% en Baena. La mano de obra dejó de ser el principal factor limitante de la producción. Las reformas liberales y la demanda alimentaria de una población en aumento estimularon, pues, el crecimiento de la producción. Esta creció de manera considerable (tabla 2), gracias a un doble fenómeno. En primer lugar, por la puesta en cultivo de nuevas tierras. La superficie cultivada creció en Montefrío del 30% en 1752 al 54% en 1852 y al 64% en 1897; y del 78% en 1752 al 93% en 1858 en Baena.¹⁰ En segundo lugar, no se introdujeron nuevos cultivos ni rotaciones, pero sí incrementaron su presencia las rotaciones más intensivas en trabajo y fertilización con una presencia marginal en 1752. Incluso los rendimientos de la rotación al tercio alcanzaron a mediados del siglo XIX los 621 Kgs/Ha en Montefrío, los 781 en Baena, y los 874 en Castilleja de la Cuesta. Era el resultado de añadir más semilla y más trabajo.

TABLA 2
EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y LA POBLACIÓN (1752-1897)

	Castilleja de la Cuesta			Montefrío			Baena		
	1752	1854	1897	1752	1852	1897	1752	1858	1897
Superficie Cultivada (Has)	191	201	166	20667	13751	16307	32887	39061	39181
Producción en materia seca (kg)	127324	267503	254888	3157112	7386841	9470094	25718264	37782270	43419823
Producción 100=1752	100	210	200	100	234	300	100	147	169
Población (Hab.)	920	1200	1852	5108	7938	10404	8000	13291	14539
Población 100=1752	100	130	201	100	155	204	100	166	182
Densidad de población (hab/km ²)	418	545	842	20	31	41	19	32	35
Prod./Hab. En kg ms	138	223	138	618	931	910	3215	2843	2986
Prod./Hab. 100=1752	100	161	99	100	151	147	100	88	93
Prod./Sup. Cult. En kg ms	668	1330	1539	153	537	581	782	967	1108
Prod./Sup. Cult. 1752=100	100	199	230	100	352	380	100	124	142

Notas: El concepto biomasa cosechable hace referencia a la producción de alimentos de consumo humano, ganadero y plantas industriales producida en la superficie agrícola. No se incluye la producción de pastos ni de bosques. La superficie cultivada en Montefrío en 1752 incluye la superficie de pastos permanentes en la que se practicaba un cultivo de rozas compatible con los pastos.

Fuentes: Archivos municipales de Montefrío, Castilleja de la Cuesta y Baena.

Pero la ampliación del territorio destinado a la alimentación humana se hizo a costa del espacio destinado a alimentar al ganado (ver tabla 3). En coherencia con la escasa productividad primaria neta de los ecosistemas andaluces, la densidad ganadera era ya desde mediados del siglo XVIII reducida. Salvo en Castilleja, estuvo por debajo de las 20 unidades ganaderas estándar a bastante distancia de la densidad ganadera de zonas más húmedas de Europa. El caso de Castilleja es debido a su situación estratégica dentro de la comarca del Aljarafe. La tendencia del conjunto de esa comarca es similar a los otros dos casos considerados (13,34 LU/km²). La disponibilidad de estiércol por hectárea cultivada era consecuentemente baja, excepción hecha de Montefrío, cuya mayor disponibilidad provenía del ganado de renta, pero cuyo estiércol era mucho más difícil de recoger debido a su manejo pastoril. Dada la abundancia relativa de tierras, el pastoreo resultaba una alternativa rentable.

TABLA 3
EVOLUCIÓN DE LA GANADERÍA Y DE LA PRODUCCIÓN DE ABONO

	Baena (Co)			Montefrío (Gr)			Castilleja (Se)		
	1752	1858	1897	1752	1856	1901	1752	1854	1897
Vacuno	2662	2531	1589	1776	318	770	36	7	22
Caballar	551	470	470	226	86	460	55	71	65
Mular	237	290	292	64	1015	184	4	12	--
Asnal	1860	1048	1004	913	169	569	29	86	37
Ganado de trabajo	5310	4339	3355	2979	1588	1983	134	176	124
Lanar	14129	3460	2260	21322	6181	2069	15	--	--
Caprino	828	235	663	14565	1883	921	--	42	15
Porcino	4368	2737	2337	6860	2475	1384	8	72	3
Ganado de renta	19325	6432	5260	42747	10539	4374	23	114	18
Total de cabezas	24635	12629	8615	45726	12127	6357	147	290	142
UG (500 kg) ²⁵	4705.5	3379.1	2561.8	5147.1	1892.0	1586.9	77.3	102.8	72.9
UG gt ²⁶	3128.8	2734.0	2021.2	1820.9	1011.9	1187.0	75.2	88.9	71.4
UG gr ²⁷	1576.7	645.1	540.6	3326.2	880.1	399.9	2.1	13.9	1.5
UG/km ²	11.32	7.64	5.76	21.03	7.73	6.48	40.46	51.16	43.92
UG/ha de cultivo	0.14	0.10	0.07	0.68	0.14	0.10	0.40	0.51	0.44
UG gr/ha de pasto	0.18	0.10	0.09	0.20	0.08	0.05	--	--	--
UG gt/ha de cultivo	0.10	0.08	0.06	0.24	0.07	0.07	0.39	0.44	0.43
Abono (tons) ²⁸	19870	16221	12160	20440	11029	9263	283	457	261
Abono/ha de cultivo	0.6	0.5	0.3	2.7	0.8	0.6	1.5	2.3	1.6

Fuentes: Archivos municipales de Montefrío, Castilleja de la Cuesta y Baena.

La expansión de las tierras cultivadas tuvo efectos directos sobre el tamaño de la cabaña ganadera, que disminuyó considerablemente entre 1752 y 1854-1858. La tendencia se mantuvo hasta finales del siglo XIX. La densidad ganadera se redujo a la mitad en Baena, a un tercio en Montefrío y sufrió una leve disminución en Castilleja. La expansión de la superficie cultivada y el aumento neto de la demanda de tracción animal explican que la disminución del ganado de labor no fuera tan acusada. No ocurrió lo mismo con el ganado de renta, que aprovechaba aquellas partes del agroecosistema que no podían aprovecharse para la alimentación humana o del ganado de labor. Quedó reducida en Baena a una tercera parte de la que había en 1752, en Montefrío a poco

más del 12% y en Castilleja a las dos terceras partes. Los datos de la tabla 3 muestran, también, una disminución de la densidad ganadera de renta en las tierras de pasto, fenómeno aparentemente contradictorio. La explicación se encuentra en, por un lado, el impacto que tuvo el acotamiento y privatización de los bienes comunales que casi acabaron con la ganadería de renta campesina, y, por otro, en que los terrenos con mejores pastos fueron los que primero se roturaron.

La disminución del ganado de labor por hectárea cultivada parece también un fenómeno contradictorio con el crecimiento del volumen de la producción agraria que se registra en los tres estudios de caso. De unas cifras relativamente altas (entre 0,10 y 0,40 LU por ha cultivada), se pasó a una densidad de entre 0,06 y 0,08. La ganadería de labor, sobre todo el ganado vacuno, debió resentirse también de la disminución de los pastos, en tanto que el ganado equino en sus tres variedades (caballos, mulos y burros) debió ajustar su número a las necesidades de tracción y transporte, procurando no competir lo mínimo por los cereales con la alimentación humana.

El resultado de todo ello fue una reducción neta de la capacidad de fertilización de la cabaña ganadera. La disminución fue apreciable en Baena (39%) y sobre todo en Montefrío (54%), en tanto se mantuvo estable en Castilleja. La elevación de la producción que hemos visto se produjo durante el siglo XIX y no pudo ser más intensa, debido a que lejos de aumentar la disponibilidad de fertilizantes orgánicos, estos disminuyeron con las consecuencias que veremos en la próxima sección. El descenso de la producción por habitante que hemos visto en la tabla 2 encuentra explicación en este hecho. El desequilibrio entre las tierras cultivadas y las dedicadas a la alimentación animal, en un momento en que los grandes traslados de granos, pajas o estiércoles estaban limitados, tuvo este efecto sobre la capacidad de fertilización.

El caso es que las posibilidades de crecimiento agrario practicado durante el siglo XIX de los agroecosistemas de Baena, Montefrío y Castilleja de la Cuesta habían llegado cerca de sus límites en las décadas finales del siglo XIX. Las posibilidades de aumentar la superficie cultivada eran muy limitadas en Montefrío e imposibles en Baena y Castilleja. En términos generales y con la excepción de los cultivos leñosos podemos hablar de un estancamiento en los rendimientos e incluso de una disminución de estos. El caso más evidente es el de los ruedos donde tuvo lugar una desintensificación de las rotaciones y una caída de la producción. En Baena la producción por hectárea y año cayó de los 1.887 kg de materia seca a mediados del siglo XIX a los 1.719 Kg y en Montefrío de los 1.741 a los 1.344. La explicación se encuentra en la necesidad de incrementar la producción destinada a la alimentación humana a costa de las leguminosas forrajeras. En Montefrío se pasó de una rotación de dos años para 1858, alternando trigo y habas, a una rotación de cuatro años que alternaba dos años de trigo con uno de habas y otro de garbanzos, menos productivos y destinados a alimentación humana. En Baena, de una rotación de tres años de habas, trigo y cebada a otra de descanso, trigo y cebada que maximizaba los rendimientos del trigo a costa de la producción total. ¿Cómo fue posible, entonces, esa elevación de la producción entre 1854-1858 y 1897 de la que hemos hablado? A continuación veremos que esta se hizo a costa de las reservas de nutrientes del suelo. El descenso que es posible observar en la cantidad de estiércol por

hectárea cultivada lo confirma: en Baena se redujo casi a la mitad y a una quinta parte en Montefrío, aunque aumentó ligeramente en Castilleja.

Metodología y fuentes utilizadas¹¹

Para evaluar los efectos de la evolución productiva hemos procedido a realizar balances de nutrientes a dos escalas distintas: a escala de cultivo o rotación para determinar su grado de sostenibilidad, dadas las variaciones experimentadas en los usos del suelo a lo largo del tiempo, y a escala agregada de cada estudio de caso para confirmar o no la sostenibilidad del sistema en su conjunto.

La realización de balances para el pasado no es fácil por la complejidad de estimar valores para algunas variables. Los resultados no pueden tomarse más que como órdenes de magnitud y tendencias, nunca como valores exactos. A la incertidumbre que existe con respecto a procesos tan complejos como los ciclos de N, P y K, se añade la escasa literatura existente sobre la reposición de nutrientes en condiciones edafoclimáticas semejantes a las de Andalucía. No obstante, muchos de estos valores han podido ser tomados de diversos ensayos actuales que se realizan en agricultura ecológica.¹²

Para la confección de los balances hemos considerado las entradas por precipitación, meteorización, fijación no simbiótica (solo para el nitrógeno), fijación simbiótica (leguminosas, solo para el nitrógeno), riego, fertilización (en este periodo exclusivamente orgánica) y semillas. En las salidas, las extracciones por la cosecha y las pérdidas de elementos por erosión, y para el caso del nitrógeno hemos incluido las pérdidas por desnitrificación, la volatilización de amonio y la lixiviación. En la tabla 4 se resumen las variables y los valores considerados.

Las fuentes principales para el cálculo de las superficies, ganado, rendimientos y costes de producción son las siguientes: Catastro de Ensenada de 1752, Respuestas Generales y Respuestas Particulares. Para el siglo XIX: Amillaramientos de la riqueza rústica, Cartillas Evaluatorias y Agronómicas de la Comisión Central de Evaluación y Catastro. Toda esta documentación está depositada en los Archivos municipales de Castilleja de la Cuesta, Montefrío y Baena. Como fuentes complementarias hemos utilizado, Protocolos Notariales en el Archivo Histórico Provincial de Sevilla, en el Archivo Histórico de Protocolos de Granada y en el Archivo Histórico Provincial de Córdoba. En este último archivo hemos utilizado también documentación del Servicio Agronómico provincial entre 1880 y 1916. Hemos utilizado, además, como contraste las superficies de 1871-1873 del Instituto Geográfico y Estadístico, publicadas en el Anuario Estadístico de España de 1888.

Los balances de nutrientes: resultados

Los resultados de los balances parecen lógicos: aquellos cultivos o rotaciones que reciben abonado presentan balances positivos, en tanto que los que no se abonan los presentan negativos en todos o en alguno de los tres macronutrientes. Bien es verdad que con distinta significación desde el punto de vista de la viabilidad a corto, medio y largo plazo. Otro resultado general importante a destacar es que aquellas modalidades

**TABLA 4
METODOLOGÍA DE LOS BALANCES DE NUTRIENTES**

INPUTS Y OUTPUTS	VARIABLES PRINCIPALES	FUENTES PRINCIPALES DE INFORMACIÓN
Natural	Lluvia	Estaciones meteorológicas (datos > 25 años). Datos actuales (colectores de lluvia) de localizaciones no contaminadas.
	Fijación no simbiótica de N	Bibliografía (dependiendo de la intensidad de cultivo y frecuencia) Total N en la parte superficial de la planta.
	Fijación simbiótica de N en rotaciones con presencia de leguminosas	Total N en las raíces de la planta. Porcentaje de N de origen atmosférico. Rhizodeposición. N fijado por cubiertas vegetales.
	Formación de suelo di novo	Tasa de meteorización del suelo. Promedio ponderado del contenido de total de suelo P y K.
INPUTS	Irrigación	Estimativo (aporte de agua en los sistemas de irrigación históricos). Concentración en el agua de N, P y K.
	Fertilización orgánica	Promedio ponderado del contenido de N, P y K en el estiércol hecho. Cantidad de estiércol aplicado por tipo de cultivo.
	Semillas	Contenido en las semillas de N, P y K. Cantidad de semilla aplicada en cada tipo de cultivo.
OUTPUTS	Cosecha	Cosecha. Contenido en la cosecha de N, P y K.
	Desnitrificación	Contenido en arcillas en el suelo. Contenido en N en el estiércol.
	Volatilización de amonio	Promedio bibliográfico. Contenido en N en el estiércol.
	Lixiviación	Volumen agua de lixiviación. Resultado del balance entradas y salidas. Mineralización del N.
	Erosión	Tasa de erosión. Contenidos de N, P y K en el suelo.
		Fuentes históricas. Mapas de suelo (LUCDEME). Fuentes históricas.
		Fuentes históricas. Fuentes históricas. Fuentes históricas. Fuentes históricas. Fuentes históricas. Fuentes históricas más experimentos con variedades tradicionales.
		Modelo actual. Mapas de suelo (LUCDEME). Fuentes históricas.
		Modelo IPPC. Fuentes históricas.
		Modelo actual. Estaciones meteorológicas (datos > 25 años). Datos actuales.
		Estimativa. Mapas de suelo (LUCDEME).

Fuente: Elaboración propia

de cultivo que muestran en sus rotaciones leguminosas o que incluían un año de descanso con vegetación arvense o que incluían anualmente vegetación arvense (olivar y frutales), presentan un balance positivo para el N.

Las formas de organización del espacio agrícola responden a dos pautas diferentes: Castilleja de la Cuesta (Sevilla) es una zona de producción relativamente intensiva y vinculada desde muy temprano al mercado de la ciudad de Sevilla y al río Guadalquivir. La presencia de los cultivos de subsistencia, especialmente de los cereales y las leguminosas, era menor que en las otras dos zonas de estudio, característicos del interior andaluz, tanto del este como del oeste.

El espacio agrícola estaba dividido en Castilleja en parcelas que tenían acceso al agua para riego y los terrenos de secano donde convivían los cultivos herbáceos con los leñosos. En los primeros, se practicaba a mediados del siglo XVIII una rotación típica de huerta con predominio de las hortalizas para el abastecimiento de la comarca o, dada su escasa entidad superficial, para el autoconsumo. En algunas de estas parcelas se encontraban dispersos un número indeterminado de naranjos. La fuente no habla de abonado, pero por la entidad de lo cosechado (entre 12 y 19 t/año) es razonable pensar que se aplicase estiércol. Lo mismo ocurre con los datos correspondientes a 1854. Esta presumible deficiencia de las fuentes explica los déficits para los elementos considerados que arrojan los balances. Los rendimientos eran similares a los obtenidos en 1880 y 1897, fechas para las que las fuentes recogen la aplicación de entre 14.7 y 16.8 t de estiércol por hectárea y año. Es plausible que en 1752 y 1854 el manejo fuera similar, con dosis parecidas de abonado. En esas condiciones, los balances resultarían positivos.

El secano se distribuía en tres partes diferenciadas; una dedicada a los frutales, algunas de cuyas parcelas tuvieron a finales del siglo XIX acceso a cierta cantidad de agua para riego y a estiércol para abonar, mostrando la especialización que se estaba registrando en el Aljarafe sevillano al calor de la demanda de la capital. Poco sabemos del marco de plantación, aunque sí sabemos de la gran variedad de frutales, manzanas, ciruelas, peras, albaricoques, guindas, melocotones, etc., que se cultivaban en las poco más de 30 ha con que llegó a contar este aprovechamiento en 1854. En cualquier caso, los balances resultan negativos como corresponde a un cultivo que no se fertilizaba, salvo en 1897 en que se aplicaban anualmente 2.250 kg de estiércol y se recogían casi 7000 kg de fruta por hectárea y año. No obstante, las cubiertas naturales que crecían durante el invierno y los primeros meses de la primavera compensaban con creces las extracciones de nitrógeno.

TABLA 5
BALANCES DE NITRÓGENO (N), FÓSFORO (P) Y POTASIO (K) EN KG
ELEMENTO/HA* AÑO EN CASTILLEJA DE LA CUESTA (SEVILLA)
1752-1897

	Huerta	Al tercio	Año y vez	Olivar	Viña	Frutales
N						
1752	-25,7	-0,5	--	12,0	-5,9	14,7
1854	-32,6	-4,6	--	4,0	-16,6	10,7
1880	33,9	--	18,4	5,5	-18,8	8,7
1897	33,9	-17,6	--	7,3	-0,1	--
P						
1752	-16,3	-1,1	--	-0,9	0,7	-0,6
1854	-16,9	-2,7	--	-2,1	-3,4	-1,2
1880	8,3	--	5,1	-1,8	-3,9	-2,8
1897	8,3	-5,8	--	-1,6	3,5	--
K						
1752	-29,7	-12,9	--	-15,8	-13,7	-12,7
1854	-30,2	-19,5	--	-20,8	-35,4	-22,5
1880	46,2	--	-1,4	-24,6	-40,9	-29,0
1897	46,2	-39,4	--	-21,4	-22,1	--

Notas: "--": significa que no existía en ese año tal aprovechamiento o rotación.

Fuentes: Catastro de Ensenada 1752, Amillaramientos 1854, 1866 y 1897., Respuestas Generales 1752, Cartillas Evaluatorias 1853-60, 1880, 1882, Trabajos Agronómicos de la Comisión Central de Evaluación y Catastro 1897 AMCC.

Otra parte del secano estaba dedicada al cereal, como principal cultivo de subsistencia. Su importancia fue decreciendo a medida que el agroecosistema fue especializándose en cultivos leñosos, especialmente en el olivar. A mediados del siglo XVIII, el cereal se cultivaba al tercio con barbecho blanco, dando unos rendimientos apreciables (en torno a los 900 kg/ha, 9 kg por uno de semilla). El balance resultaba equilibrado para el nitrógeno y deficitario para el fósforo y el potasio en cantidades apreciables. En 1854, la rotación seguía siendo al tercio, pero los rendimientos se habían elevado y con ellos el déficit del balance. La rotación funcionaba porque se extraían del suelo cantidades apreciables de fósforo, potasio y en menor medida nitrógeno. Quizá esta carencia de nutrientes es la que explique que en 1880, se practicara una rotación de año y vez con barbecho semillado en la que se aplicaban 16.800 kg de estiércol al inicio del ciclo. Los rendimientos se elevaron significativamente hasta algo más de 1.500 kg de trigo y casi una tonelada de habas y garbanzos en el año de descanso. La presencia de las leguminosas y del abonado orgánico explica los balances positivos.

A finales de siglo (1897), la rotación había cambiado de nuevo, sucediéndose las habas, el trigo y la cebada en un ciclo de tres años, donde, pese a la intensidad, no se fertilizaba. Los rendimientos del trigo bajaron, siendo compensados por la cosecha de habas y cebada. Las fuentes son muy explícitas al respecto, al recoger expresamente que "no se abonan por lo general este tipo de terrenos". Solo la escasez de fertilizantes orgánicos explica la práctica de esta modalidad de rotación, claramente extractiva con déficits muy considerables, en especial de nitrógeno. Como veremos en el epígrafe siguiente, es posible que el estiércol sobrante de la cabaña ganadera fuese destinado a fertilizar estos terrenos, paliando sus carencias.

La parte restante del secano estaba dedicada a los cultivos leñosos, vid y olivo, y fue adquiriendo cada vez mayor importancia. Tanto en el caso del olivar como en el del viñedo, las fuentes no indican ningún tipo de fertilización con estiércol salvo el viñedo en 1897. El cultivo del olivar, que protagonizó la expansión más relevante hasta alcanzar casi las 100 ha de superficie, comenzó sin embargo cultivándose de manera poco intensiva. A mediados del siglo XVIII, sus rendimientos anuales eran escasos (entre 300 y 600 kg), debido sobre todo al número de pies en cada hectárea y al manejo que se le daba al árbol, no destinado principalmente, como ocurre hoy, a la producción de aceituna para aceite. No obstante, a mediados del siglo XIX, los rendimientos eran ya apreciables, cosechándose entre 800 y 1.500 kg de aceituna por hectárea y un rendimiento en aceite cercano al 17%. Rendimientos más altos incluso se obtuvieron, según las fuentes, en 1880 (entre 1.200 y 2.000 kg de aceituna) y en 1897 (entre 900 y 1.600 kg). Las cubiertas naturales, especialmente las leguminosas que formaban parte de ellas, constituyeron un elemento clave en la reposición del nitrógeno extraído con la cosecha y las podas. De hecho, los balances de nitrógeno resultaron positivos. No puede decirse lo mismo para el fósforo, cuyo déficit no fue muy grande pero sí significativo, y del potasio con importantes pérdidas netas.

El cultivo de la vid, que llegó a ser fundamental en términos de superficie a mediados del siglo XVIII, sufrió una importante disminución a lo largo del siglo XIX hasta ocupar poco más de 10 hectáreas en 1897. En este último periodo, el cultivo ya no se dedicaba a la producción de vino, sino a uva para “verdeo”. Los rendimientos en 1752 fueron de entre 300 y 1100 kg/ha. Desde mediados de siglo experimentó una intensificación apreciable que elevó los rendimientos entre los 2.300 y los 5.900 kg/ha en 1854 y 1880. Dicha intensificación se hizo a costa de un déficit significativo en los balances de potasio, fósforo y, sobre todo, de nitrógeno. No es de extrañar que la nueva elevación de los rendimientos que registran las fuentes para 1897, alcanzando entre 4.400 y 6.600 kg/ha, solo fuera posible con la aplicación de una cantidad importante de estiércol cada cinco años (32.000 kg). Salvo el balance de este último año, los correspondientes a los años anteriores presentan valores significativamente negativos que hacen pensar en que esta modalidad de cultivo conllevaba minería de nutrientes. En otras palabras, el Aljarafe sevillano dejó escapar durante el siglo XIX bienes fondo con el mosto exportado. La especialización en uva de mesa, que surgió a finales de siglo, solo fue posible con la adición de estiércol. Sin una elevación sustancial de la capacidad de fertilización la salida competitiva a la crisis hubiera sido prácticamente imposible.

Montefrío y Baena, por su parte, organizaban a mediados del siglo XVIII su espacio agrario de acuerdo con distintos niveles de intensidad del cultivo en territorios en los que existía abundancia relativa de tierra útil (20 hab/km² en Montefrío y 19 en Baena). La ocupación del extenso territorio se realizó sobre la base de los núcleos de población y de grandes unidades de poblamiento alrededor de pequeñas agrupaciones de *casa-cortijo* o *cortijadas* y del núcleo de población principal. Alrededor de esos núcleos se organizaba el cultivo de mayo a menor intensidad en función de la distancia, en un modelo similar al que formalizara Von Tünen, y más recientemente Paul Krugman y otros.¹³ En el espacio inmediato al núcleo habitado se disponían las pequeñas parcelas con acceso al riego, dedicadas al cultivo de hortalizas, frutas, cereales y leguminosas,

cercanas a los cursos de agua. El espacio circundante se dedicaba al cultivo en secano de cereales y leguminosas de consumo tanto humano como animal. El estiércol disponible se dedicaba preferentemente a estos terrenos, sobre todo por la economía en el transporte y porque sus costes en trabajo podían ser con facilidad soportados por la población.

A continuación se situaba la mayor parte del espacio cultivado en el que se practicaba una rotación al tercio con barbecho blanco, dedicada a la producción de trigo o cebada con dosis de siembra y cosechas bastante modestas. La abundancia relativa de tierra no incitaba a preocuparse por ello. Finalmente, el cultivo de la vid y del olivo, que recibían pocas labores, esto es manejado de manera extensiva, se realizaban en terrenos ganados al monte o en aquellos con baja aptitud agraria. Todavía en 1752, una parte muy importante de ambos términos municipales permanecía inculta, albergando dos importantes cabañas ganaderas (21 y 11 LU/km² respectivamente). La evolución sufrida por ambos sistemas agrarios fue hacia una mayor intensidad en el cultivo, ampliándose los terrenos de riego y los dedicados a la viña y, en especial, a olivar que fueron cultivados, además, de manera también más intensiva. En Montefrío, el vector de la intensificación no fue el mercado, poco presente en la comunidad, sino el propio crecimiento de la población estimulado por los repartos de fincas y el propio dinamismo demográfico. En una situación intermedia entre Montefrío y Castilleja es posible colocar a Baena, con una producción de cereales, vid y olivar excedentaria que iba destinada al mercado nacional e incluso de exportación.

Pese a ello, los balances de Montefrío y Baena muestran tendencias similares a las de Castilleja de la Cuesta. Aquellos cultivos o rotaciones con acceso al estiércol presentan resultados positivos, en tanto que los que no se fertilizaban muestran balances negativos, sólo paliados para el N por la fijación de las leguminosas presentes en las cubiertas naturales (olivar y cereales al tercio en el año de descanso).

La tabla 6 recoge los balances para Montefrío. El signo negativo que aparece en el riego constante (dedicado a la producción de hortalizas) en 1752 y 1856 se debe, al igual que en Castilleja de la Cuesta, a que las fuentes no recogen dosis de abonado. Si se usa la dosis que recogen los Trabajos Agronómicos de 1901 (20000 kg de estiércol), el balance resulta positivo. La suposición es lógica, dado que entre 1752 y 1852 no hemos detectado escasez de estiércol. Del mismo modo, los balances en el riego eventual, con cosechas semejantes y dosis de abonado menores, arrojan valores también positivos. La razón es que en estas parcelas se practicaba una rotación bienal de cereales y leguminosas (salvo en 1752 donde se incorporaba un año de descanso), siendo estas últimas un elemento clave para el equilibrio del balance. Pocos son los datos sobre los cultivares de la rotación en el regadío constante, salvo que se dedicaban a hortalizas. Idénticos problemas hemos encontrado en Baena para el regadío constante y eventual, que hemos debido estimar de acuerdo con los datos de Montefrío y Castilleja.

TABLA 6
BALANCES DE NITRÓGENO (N), FÓSFORO (P) Y POTASIO (K) EN KG
ELEMENTO/HA* AÑO EN MONTEFRÍO (GRANADA) 1752-1897

	Riego constante ¹	Riego eventual ²	Ruedos ³	Al tercio	Olivar	Viña
N						
1752	-13,6	7,8	-3,6	0,7	15,2	-3,7
1852	-6,0	5,0	6,2	5,0	5,5	-8,9
1897	6,1	--	2,1	0,1	4,3	-8,9
P						
1752	-3,1	2,6	0,8	-0,6	-1,2	-1,1
1852	-1,2	1,9	-0,2	-1,5	-2,7	-3,4
1897	3,6	--	-0,4	-1,4	-2,9	-3,5
K						
1752	9,1	18,0	-5,3	-12,1	-27,8	-23,2
1852	13,0	7,1	-7,4	-17,2	-53,2	-53,4
1897	29,9	--	-12,8	-17,2	-54,1	-53,4

Notas: “—” : significa que no existía en ese año tal aprovechamiento o rotación.

1. Con una rotación de trigo y hortalizas anual; 2. Con una rotación de habas y trigo bienal; 3. Con una rotación cuatrienal de habas-trigo-garbanzos-trigo.

Fuentes: Catastro de Ensenada 1752, Amillaramientos 1852 y 1897. Respuestas Generales 1752, Cartillas Evaluatorias 1856, 1887, Trabajos Agronómicos de la Comisión Central de Evaluación y Catastro 1901 Archivo Municipal de Montefrío.

Los ruedos, también fertilizados, en 1752 presentan en Montefrío balances negativos para el N y el K, aunque no muy significativos, debido a la escasa intensidad del cultivo y la baja dosis de estiércol. Más equilibrados resultan en Baena, donde los resultados del balance son positivos. La rotación en ambas localidades combinaba los cereales con las leguminosas, elevando con ello la dotación de N del suelo y la cantidad de alimentos humanos y animales por unidad de superficie. Esta rotación, que eliminaba el barbecho gracias al estiércol añadido, significaba la particular “revolución agrícola”¹⁴ de la España meridional y fue la punta de lanza de la intensificación productiva que experimentó Andalucía durante el siglo XIX.

En Montefrío en la rotación de 1752 se alternaban las habas con el trigo, seguido de garbanzos, y en el último de los cuatro años que duraba, se dedicaba a cebada y centeno en verde para consumo animal. Como ocurre con el regadío constante, el déficit podría achacarse a la calidad de la información contenida en las Respuestas Generales del Catastro de Ensenada. Mucho más fiable es la fuente correspondiente a 1897, cuyos datos fueron recogidos por los técnicos provinciales de la Junta Consultiva Agronómica. En este caso, el déficit en P y K se debió seguramente a la escasez de estiércol (14.000 kg), que como veremos más adelante estaba sufriendo la agricultura de la zona. Los rendimientos en esta fecha eran considerables para la época, al tratarse de parcelas de secano: 1.900 kg de habas en el primer año, 1.200 de trigo en el segundo, 260 kg de garbanzos en el tercero y 1.100 en el último año. El balance más equilibrado de 1852 se debió tanto a una mayor dosis de abonado (15.000 kg) como a la alternancia del trigo con las habas, desplazando el cultivo de los garbanzos (consumo humano) con una capacidad menor de fijación simbiótica, que volverían, sin embargo, en 1897, tiempos en Montefrío de escasez alimentaria y crisis social.

En Baena, la rotación combinaba el trigo y la cebada (año 1º) y las leguminosas (año 2º) tanto para consumo humano como para animal (yeros, lentejas, etc.), recibiendo una dosis de abonado de 1.269 kg de estiércol. Los rendimientos no eran muy importantes: 700 kg/ha de trigo, 350 de cebada y poco más de 600 kg de leguminosas. Esto explica que los balances sean positivos. En esa fecha, casi 600 ha estaban dedicadas a esta rotación, poniendo de manifiesto el mayor grado de intensidad en el cultivo logrado en Baena con respecto a Montefrío, donde apenas ocupaba 24 ha. A mediados del siglo XIX, la particular revolución agrícola del sur peninsular había dado sus frutos y esta rotación se había multiplicado por 5,4 y ocupaba 3.268 ha. Los rendimientos se habían elevado, oscilando entre los 700 y los 1.000 kg de cebada, 760 y 1.135 kg de trigo y 900 kg y 1.400 kg de cebada (en tres años). Pese a que la dosis de abonado no varió, la presencia de las habas hace posible que el balance arroje valores positivos. A finales de siglo, la superficie dedicada a este aprovechamiento había vuelto a subir, aunque levemente (3.502 ha), pero sobre todo se había producido una desintensificación, sustituyendo el año de las habas por descanso. Esto permitió elevar la producción destinada a la alimentación humana entre los 900 kg y los 1600 kg para el trigo y menos entre los 800 kg y los 1600 kg para la cebada. También se redujo la dosis de abonado hasta los 6000 kg lo que explica los valores negativos del balance a pesar de la desintensificación.

Las fuentes distinguen otro tipo de manejo que no había en Montefrío: los “trasruedos”. Eran tierras situadas inmediatamente después de los ruedos, en las que se practicaba una rotación en la que se alternaban dos años de cebada o la escaña con un tercer año de descanso y a la que no se añadía estiércol. Consecuentemente, los rendimientos eran escasos: entre los 350 y los 700 kg de cebada cada año de cultivo y en torno a los 340 de escaña, tanto a mediados como a finales del siglo XIX.

El interés por intensificar el cultivo de secano es el que explica la presencia en Baena de una rotación de año y vez sin fertilización, en la que se sucedía el trigo y la cebada en el primer año con el descanso en el segundo. Los rendimientos eran bajos (560 kg de trigo y 250 de cebada). A mediados del siglo XIX, los rendimientos habían aumentado hasta los 719 kg de trigo, cantidad que ya no cambiaría a finales del siglo. En coherencia con la falta de abonado, la rotación solo se podía mantener con las reservas del suelo, es decir, practicando minería de nutrientes. Y ello es importante porque para el imaginario de los arbitristas agrarios del siglo XIX y buena parte del XX, esta rotación -dado su carácter intensivo en mano de obra- se planteó como la alternativa a la rotación al tercio que se practicaba en las grandes fincas de Andalucía. No cabe duda de que al menos en Baena, la rotación no era sostenible. En Castilleja de la Cuesta, donde se practicó como hemos visto esta forma de manejo, exigió la utilización de estiércol, lo que nos sitúa dentro de los límites que la cabaña ganadera impuso a la intensificación de los cultivos y que veremos más adelante.

La rotación que ocupaba más territorio estaba dedicada a la producción de cereales y se manejaba “al tercio”, combinando el trigo con el descanso y el barbecho blanco en un ciclo de tres años. Los rendimientos eran realmente bajos en Montefrío (en torno a los 400 kg) y un poco más altos en Baena (700 kg). Este manejo respondía a una estrategia para hacer frente a la escasez de estiércol a costa de un alto consumo de territorio. La baja densidad de población existente en 1752 explica la enorme amplitud de este sistema y su carácter más extensivo, puesto de manifiesto en su escaso rendimiento. En esas

condiciones, el balance de nutrientes resulta equilibrado o con déficits insignificantes en el N. La rotación, ya desde el principio, evidenciaba cierto déficit en fósforo y potasio, fenómeno este que contribuye a explicar que la sola aplicación de superfosfatos a comienzos del siglo XX permitiese elevar apreciablemente los rendimientos. A mediados del siglo XIX, la rotación ocupaba menos territorio, en beneficio de las tierras dedicadas a ruedo. El crecimiento de la población explica esta elevación en la intensidad del cultivo y, consecuentemente, en los rendimientos, que alcanzaron los 900 kg de trigo cada tres años en ambas localidades. La situación creada sería bastante común en los secanos cerealistas de Andalucía: un balance equilibrado en lo tocante al N, gracias a la acción de las cubiertas naturales en el año de descanso, y déficits apreciables de P y K. Una rotación tan difundida como esta, era posible gracias a las reservas de P y K en el suelo, ciertamente con capacidad de afectación al propio cultivo diferente, según veremos más adelante.

TABLA 7
BALANCES DE NITRÓGENO (N), FÓSFORO (P) Y POTASIO (K) EN KG
ELEMENTO/HA* AÑO EN BAENA (CÓRDOBA) 1752-1897

Rotación	Riego C	Riego E	Ruedo	Trasruedo	Año y vez	Al tercio	Olivar	Viña
N								
1752			1,2	--	-3,3	-0,3	0,7	-7,1
1858			-4,7	-4,4	-2,9	1,5	0,3	-9,1
1897			-9,8	-4,4	-3,4	-0,9	-3,4	-16,8
P								
1752			3,6	--	-2,4	-1,5	-2,8	-1,5
1858			0,1	-1,3	-2,9	-1,6	-2,8	-2,0
1897			-2,1	-1,3	-3,3	-2,1	-3,4	-3,5
K								
1752			3,4	--	-16,5	-13,1	-38,3	-30,6
1858			-12,6	-10,6	-16,5	-12,8	-38,7	-34,4
1897			-21,8	-10,6	-22,9	-23,5	-4,3	-45,8

Notas: “--”: significa que no existía en ese año tal aprovechamiento o rotación.

Fuentes: Catastro de Ensenada 1752, Amillaramientos 1852 y 1897. Respuestas Generales 1752, Cartillas Evaluatorias 1856, 1887, Trabajos Agronómicos de la Comisión Central de Evaluación y Catastro 1901 Archivo Municipal de Baena.

Montefrío y Baena reúnen condiciones de suelo y clima representativas de la Andalucía del interior, donde la especialización leñosa fue adquiriendo durante el siglo XIX cierta importancia, preludio de la que sería su principal orientación productiva durante el siglo XX. Conviene, pues, conocer su viabilidad. En Montefrío comenzó siendo un aprovechamiento marginal, presente en fincas de cereal y raramente agrupado en una parcela. Las fuentes hablan de unos 22 olivos por fanega, unos 46 por ha, un marco bastante amplio, con unos rendimientos que no llegaban a los 250 kg. Era, como han demostrado Esther Calderón y Juan Infante,¹⁵ un frutal al que se le prodigaban muy poco cuidados. A mediados del siglo XIX, los rendimientos se habían elevado por las mismas razones que en Castilleja, más labores y más árboles por hectárea, entre 450 y 1.050 kg/ha de aceituna; proceso de mejora que siguió durante la segunda mitad del siglo a tenor del nuevo aumento en los rendimientos recogido en los Trabajos Agronómicos de 1897, entre los 650 y los 1.300 kg/ha.

Más intensivo fue desde el principio el manejo del olivar en Baena, zona de especial aptitud para el cultivo. Más de 1.000 ha estaban ocupadas por un tipo de olivar muy productivo para la época, con rendimientos comprendidos entre los 1.100 y los 1.600 kg de aceituna, en tanto el resto, hasta llegar a las 4.897 ha que recoge el Catastro de Ensenada (1752) estaba plantado de olivares menos productivos que, pese a todo, no bajaban de los 500 kg/ha de rendimiento. A mediados del siglo XIX, Baena contaba con poco más de 3000 ha de olivar, tras haber superado un fuerte retroceso a finales del Antiguo Régimen, cuando el monopolio señorial de los dos molinos existentes en la localidad estranguló la producción. Los rendimientos (entre 780 y 1.600 kg/ha) muestran que a mediados de siglo no había aumentado la intensidad del cultivo. Hecho que ocurriría durante la segunda mitad del siglo. En 1872, Baena contaba ya con casi 10000 ha de olivar, según el Instituto Geográfico y Estadístico (1872), y de acuerdo con los Trabajos Agronómicos (1897), la producción por hectárea se situaba ya entre los 1.000 y 2.200 kg, para más de 100 pies por hectárea.

Los balances muestran una tendencia también parecida a la de Castilleja de la Cuesta, dando consistencia a las conclusiones que hemos expuesto más arriba. La relación entre entradas y salidas en el olivar es positiva en la reposición del N (salvo en Baena para 1897), pero arroja déficits significativos en el P y el K en todos los años considerados. La intensificación del cultivo implicó no solo más extracciones de P y K, sino también la aparición a finales de siglo de carencias en el N. El superávit de N de los años anteriores se explica, pese a no recibir normalmente abonado alguno, por la fijación simbiótica que realizan las leguminosas en las cubiertas naturales y que se ha cuantificado en 20 kg de N/ha/año.¹⁶

Esto no ocurrió, sin embargo, con la vid. Las cubiertas son mucho menos frecuentes en un cultivo con un marco de plantación más denso que apenas deja crecer las hierbas entrecalles. Los rendimientos de Montefrío a mediados del siglo XVIII concuerdan *grosso modo* con los de Castilleja (entre los 200 y los 1.100 kg de uva por ha), mostrando que la cincuentena de hectáreas dedicadas en esa época al cultivo de la vid cubrían apenas las necesidades de sus propietarios. En cambio, Baena mostraba también en la viña un nivel de especialización importante. Le dedicaba casi 2.000 hectáreas y sus rendimientos más elevados (entre los 500 y los 1.300 kg/ha de uva). A mediados del XIX, la superficie se había multiplicado por cuatro en Montefrío y se había reducido levemente en Baena. Los rendimientos en ambas localidades se igualaron (entre los 900 y los 2600 kg/ha) en contraste con los rendimientos alcanzados en Castilleja y en general el Aljarafe, ya especializado en la producción de vino (entre 2000 y 4000 kg/ha). Pese a ello, la producción en Baena respondía a su creciente inserción en el mercado, en tanto en Montefrío seguía respondiendo a las demandas de su población. La situación no había cambiado a finales del siglo, los rendimientos se mantuvieron en Montefrío y se elevaron hasta los 3400 kg de uva en Baena. En ninguno de los momentos considerados las viñas recibieron fertilización alguna. El cambio de siglo no cambiaría apenas la dedicación de las viñas, que presentaron rendimientos similares a la subsistencia de los vecinos. Los balances de nutrientes confirman lo dicho para Castilleja, se trataba de un cultivo que podía sobrevivir gracias a las reservas del suelo y que extraían de ellas cantidades crecientes de N, P y K, según aumentaba la cantidad de uva cosechada

y, por tanto, la intensidad del cultivo. Minería de nutrientes como la practicada desde mediados de siglo, y especialmente en Baena a finales de siglo era difícil de mantener de manera indefinida

En definitiva, los resultados de los balances permiten afirmar que las rotaciones y cultivos que recibieron abonado -generalmente los cultivos más intensivos- pudieron mantenerse sin dificultad a lo largo del tiempo. No así los cultivos herbáceos y leñosos extensivos, que al no recibir ningún aporte de materia orgánica pudieron mantenerse gracias a las reservas del suelo, con la consiguiente minería de nutrientes. Esta fue especialmente intensa en los cultivos leñosos, olivar y en mayor medida en la vid. La extracción de las reservas de nutrientes del suelo se fue acentuando con el tiempo, a medida que creció la intensidad del cultivo.

Significado de las extracciones netas

Pero ¿qué consecuencias tuvo la existencia de déficits en la mayoría de los balances para la estabilidad de las cosechas y en general del sistema? La significación de los déficits depende de la rotación y el tipo de nutriente implicado. Las carencias de N limitan a corto plazo y afectan más pronto a los cultivos, porque la única vía significativa de entrada de este es la atmosférica (la roca madre no suele contener cantidades apreciables de N) y aparte de la cosecha y la erosión, hay otros procesos significativos de salidas (desnitrificación, volatilización de amoníaco y lixiviación). Los déficits de P afectan, en cambio, a medio plazo, porque la roca madre es una fuente continua (a través de la meteorización) de este elemento, la capacidad de retención de fósforo disponible (procesos de absorción/desabsorción y precipitación/solubilización) en el suelo es elevada y porque la extracción de este elemento con la cosecha suele ser escasa en relación con el N (típicamente se extraen 10 kg de N por cada kg de fósforo). Para el caso del K, se pueden mantener déficits a largo plazo, pese a que los valores de las extracciones son parecidas a las de N, porque las reservas de potasio total en el suelo son enormes.¹⁷

La magnitud de los déficits de P y K son, en términos relativos, similares, dado que los contenidos en P y K total en una hectárea (y 30 cm de profundidad) pueden rondar los 1.000 y 19.000 kg, respectivamente. En ese sentido, los valores negativos de los balances indican pérdidas aproximadas de P y K total de alrededor de un 0,12 y 0,14% anual. No obstante, los déficits de fósforo, con valores absolutos en kg menores, impactan más y antes. Hay menos en el suelo, en gran parte no asimilable por las plantas, y suele afectar a la fijación de nitrógeno. Las pérdidas de potasio tienen más entidad en valores absolutos, pero menos en función de su abundancia en el suelo y de su ciclo simple. En definitiva, una extracción continua de P se nota antes en la producción (caída de rendimientos, síntomas en las hojas: cambios de color, etc.) que la de potasio, cuyas deficiencias en el olivar, por ejemplo, no han comenzado a sentirse hasta hace pocos años.¹⁸ Por otro lado, la fijación de N atmosférico también se ve limitada si no hay fósforo disponible (en este sentido, añadir fósforo químico tuvo que tener, en principio, un efecto sinérgico al inicio). Por tanto, las carencias de fósforo debieron ser significativas a medio plazo, mientras que las del K lo han sido a largo plazo.

Para tener una idea aproximada de las consecuencias de los déficits, hemos calculado para el caso de Montefrío (tabla 8), el número de años a partir de los cuales la carencia de nutrientes afectaría a los rendimientos de los cultivos. No descartamos la posibilidad de que algunos síntomas de deficiencias nutricionales en los cultivos se manifestaran incluso antes. La mayoría de los valores de la tabla superan los 500 años y algunos de ellos incluso el milenio, espacio de tiempo demasiado amplio para la escala campesina. La historia agraria enseña que en periodos más cortos de tiempo suelen tener lugar cambios lo suficientemente relevantes como para considerar lo ocurrido durante los 500 últimos años como una escala temporal significativa desde el punto de vista de la sostenibilidad.

TABLA 8
AÑOS A PARTIR DE LOS CUALES EL DÉFICIT DE N, P Y K PODRÍA
COMENZAR A AFECTAR AL CULTIVO EN MONTEFRÍO²⁹

Rotación o cultivo	N			P			K		
	1752	1852	1897	1752	1852	1897	1752	1852	1897
Ruedos	--	--	--	--	--	1.734	--	1.599	939
Al tercio	--	--	--	1.325	516	551	1.070	1.205	1.205
Olivar de secano	--	--	--	668	293	271	551	452	277
Viña de secano	443	179	179	724	231	221	657	281	281

“--”: no procede al tratarse de un balance positivo

Fuente: elaboración propia.

Esta idea resulta relevante porque rotaciones de cereales al tercio o más intensivas como las practicadas en los ruedos de Montefrío (tabla 8), en las que aparecen extracciones netas de nutrientes, lo serían en realidad a un ritmo que comenzaría a afectar a los rendimientos a una escala temporal muy amplia. Pese a ofrecer balances negativos, no deberían considerarse insostenibles a la escala de tiempo en la que se mueve la historia agraria.

Sin embargo, los periodos más cortos de tiempo a partir de los cuales los cultivos podrían tener síntomas de deficiencias nutricionales no satisfechas por el propio suelo se concentran en el olivar y en la viña, mostrando carencias de P y K que de no aparecer la fertilización química, probablemente se hubiesen manifestado en la actualidad o en unos pocos años. Ya hemos comentado los efectos que sobre el olivar están comenzando a tener las extracciones netas de potasio que la fertilización química, en la forma en que se ha realizado, no ha logrado compensar. La vid, en los tres casos de estudio, es el único cultivo en que el balance para el N fue negativo. Esto implica el vaciado de N del suelo. Este cultivo es también, prácticamente, el único que no aportaba cantidades significativas de materia orgánica de forma que la reserva de esta en el suelo iría menguando. Este descenso en la materia orgánica implica una degradación mucho más profunda del suelo (con la consiguiente disminución de la capacidad productiva), porque afecta a una multitud de variables y procesos (capacidad de intercambio iónico, capacidad de almacenamiento de agua, resistencia a la erosión, actividad biológica, etc.) directamente relacionada con la fertilidad del suelo. En definitiva, los resultados sugieren con claridad que el cultivo de la vid, tal y como se realizaba en Baena, Montefrío y en Castilleja de la Cuesta sin el auxilio de abono, puede considerarse no sustentable.

Los balances agregados: hacia la insustentabilidad

Uno de los atributos más relevantes que debe tenerse en cuenta a la hora de medir la sustentabilidad agraria es el de la estabilidad. Esta consiste en el mantenimiento a lo largo del tiempo de la productividad primaria neta de un agroecosistema, uno de cuyos indicadores es la estabilidad de los rendimientos por unidad de superficie en las áreas de cultivo. Ya hemos explorado una dimensión de este problema al analizar los resultados de los balances a escala de rotación o cultivo. Es conveniente ahora realizar un balance global que nos permita evaluar la capacidad del agroecosistema para mantener el nivel de productividad alcanzado.¹⁹ Ello es en especial pertinente para momentos del pasado, en el que las posibilidades de importar nutrientes de fuera estaban aún fuertemente limitadas y la naturaleza biológica de la energía disponible obligaba a dedicar determinadas cantidades de tierra para reponer los nutrientes exportados con la cosecha, por tanto, con costes territoriales (*land costs*) significativos. Es necesario saber a partir de un balance global, si los agroecosistemas de los tres casos estudiados podían o no proporcionar los nutrientes necesarios y cuál fue su evolución entre 1752 y 1897.

Ello implica, por un lado, establecer relaciones entre el estiércol disponible a través de la producción potencial de la cabaña ganadera, y el estiércol realmente utilizado. Implica, por otro, estimar la capacidad de compensar el déficit agregado de nutrientes con el estiércol sobrante. Este doble balance permite evaluar, por tanto, las posibilidades reales de intensificación productiva de los dos agroecosistemas a partir de los recursos propios, ya fuera mediante la introducción de cultivos o rotaciones de ellos que produjeran más biomasa total por superficie, o bien, mediante el incremento de la especialización en algunos de ellos con mayores exigencias nutricionales.

Las cantidades de estiércol producido a escala local se han comparado, por tanto, con las necesidades que según las fuentes tenían las rotaciones o cultivos fertilizados, obteniéndose el correspondiente balance. Al mismo tiempo, se han sumado los déficits de N, P y K de cada cultivo o rotación y se han multiplicado por la superficie que ocupaban, obteniéndose el déficit agregado de estos nutrientes. Hemos comparado esos datos con las aportaciones de N, P y K del estiércol sobrante para evaluar las posibilidades reales de compensación. Los resultados se presentan en la tabla 9. Como puede comprobarse, en 1752 el estiércol no constituyó un problema para sostener la demanda de los cultivos. Aquí, efectivamente, debieron ser razones económicas las que provocaron la infrautilización de la abundante materia orgánica producida por la cabaña ganadera. La intensificación productiva que tuvo lugar entre mediados del siglo XVIII y el XIX se sostuvo, como muestran los datos, en una mayor utilización del estiércol, cuya disponibilidad había disminuido de manera considerable. En un momento determinado de las décadas centrales del siglo XIX, se llegó a la máxima utilización del estiércol disponible. La existencia de datos para Castilleja en 1880 nos ha permitido apreciar que fue en torno a esos años cuando ocurrió. En otros términos, los datos confirman que en las últimas décadas del siglo XIX se había llegado en las tres localidades prácticamente al límite de las posibilidades de intensificación con los recursos del propio agroecosistema.

TABLA 9
BALANCE AGREGADO DE NUTRIENTES, 1752-1897
(EN TM DE ESTIÉRCOL Y KG DE N, P Y K)

	Año	Demanda total ¹ (A)	Estiércol disponible (B)	Estiércol sobrante (B-A)	Balance ¹		
					N	P	K
Baena	1752		19.870				
	1858		16.221				
	1897		12.160				
Montefrío	1752	710	20.440	19.730	9.325	16.742	-148.451
	1856	9.617	11.029	1.412	3.526	-16.157	-273.995
	1897	9.803	9.263	-539	-13.427	-22.446	-332.232
Castilleja	1752	43	283	240	891	29	-1.833
	1854	96	457	361	1.456	51	-2.823
	1880	489	510	20	-237	-269	-3.844
	1897	175	261	(*) 0	-169	-254	-3.834

¹ Se refiere a la cantidad total de estiércol requerida por los cultivos o rotaciones a los que se añade este tipo de abono.

² Se refiere al resultado de restar (en kg de N, P y K) al déficit agregado de nutrientes de los cultivos y rotaciones deficitarios, la riqueza en esos macronutrientes del estiércol sobrante. (*) Hemos supuesto que el abono sobrante según las fuentes (86 t), se le añadiría a la rotación de cereal en secano, cuyos déficits de nutrientes son tan relevantes que su manejo no se entiende sin abonado.

Fuente: Elaboración propia

Los datos correspondientes a 1897 así lo corroboran. En Castilleja la intensificación había llegado incluso a retroceder con respecto a 1880, a causa de la reducción prácticamente a la mitad de la capacidad de fertilización de la cabaña ganadera. Esta fue responsable tanto de la caída de los rendimientos como de la existencia de balances negativos. El agroecosistema de Castilleja de la Cuesta estaba, a finales del siglo XIX, ya desequilibrado, al superar el límite de la reposición de la fertilidad con recursos propios.

Desde un punto de vista teórico, que es el que proporciona la tabla que comentamos, la combinación de cultivos en rotaciones con presencia de leguminosas hizo posible que ni en 1752 ni en 1854 hubiera déficit de N, pero no pudo evitar que la reposición del P estuviera desde el principio muy ajustada y que hubiera clara minería de K. Cuando el sistema se especializó en frutales, olivar y viña, las extracciones no compensadas con estiércol se generalizaron de forma significativa para todos los nutrientes. El agroecosistema de Castilleja de la Cuesta era un potencial demandante de fertilizantes químicos sintéticos, no solo para proseguir su proceso de intensificación y especialización, sino también para mantener el esfuerzo productivo que se había alcanzado en años anteriores. Esta circunstancia no deja de tener significación en plena crisis agraria finisecular, justo en los momentos previos a la difusión de la fertilización química en España.

La tabla 9 confirma lo dicho en la sección anterior: un descenso de la capacidad de fertilización mucho más acusado en Baena y Montefrío, motivado por la reducción de las áreas del agroecosistema dedicadas a la alimentación animal, provocando la rotura del equilibrio territorial que habían guardado los agroecosistemas. Confirma también que a finales del siglo XIX, tanto en Baena como en Montefrío se había alcanzado la máxima intensidad posible del cultivo con los recursos propios y la tecnología disponible. De hecho, el déficit que se observa en el balance para 1897 en Montefrío es una prueba de que se había excedido dicha capacidad y que el nivel de intensidad tenía

necesariamente que disminuir de no usarse fertilizantes químicos de síntesis, recurso a que no estuvo disponible hasta la segunda década del siglo XX, según información oral.

La intensificación del cultivo de cereales y la especialización en olivar y viña fueron las responsables directas del déficit de nutrientes. La disminución neta de nutrientes, que trajo consigo la reducción de la cabaña ganadera, hizo que dicha intensificación se sostuviera sobre las reservas de nutrientes del suelo, especialmente de las de P y K. Ni siquiera el efecto de las leguminosas, que hasta mediados del siglo XIX hicieron posible un balance de nitrógeno positivo, pudo mantenerse en los años sucesivos. Las reservas del suelo fueron claves para elevar los rendimientos y mantener el incremento del esfuerzo productivo durante el siglo XIX.

Conclusiones

Los datos confirman que la reposición de la fertilidad se convirtió en el factor clave de la sustentabilidad del metabolismo agrario de base energética orgánica y que, efectivamente, desempeñó un papel clave en el inicio de la transición hacia un metabolismo agrario de naturaleza industrial.²⁰ La salida de la crisis finisecular, basada en la especialización productiva y en una elevación de los rendimientos por unidad de superficie, solo fue posible cuando logró superarse la escasez estructural de fertilizantes, como ya defendimos en otros textos,²¹ mediante la fabricación de abonos químicos de síntesis con combustibles fósiles.

Nuestros casos de estudio muestran que la baja densidad de población, los obstáculos institucionales y la necesidad de no esquilmar los suelos, contuvieron la producción en unos niveles aceptables. La estabilidad de las cosechas y la sostenibilidad de los sistemas agrarios residían en ello. De ahí que los rendimientos por unidad de superficie no puedan compararse con los actuales, donde el fenómeno cada vez más frecuente en Europa es precisamente el contrario, la sobrefertilización.

Teniendo en cuenta la escasez estructural de estiércol, la importancia de los cultivos extensivos, la presencia del barbecho y los bajos rendimientos deben interpretarse como una estrategia adaptativa de los campesinos para dotar a sus cultivos con una necesaria estabilidad a largo plazo. La extracción de nutrientes en estos cultivos era mínima y ello explica que no se fertilizaran. Sin embargo, el crecimiento de la demanda desde el mercado nacional y el aumento de la población, provocado por el cambio institucional de la revolución liberal, presionaron a los agroecosistemas causando la ruptura del equilibrio territorial. La superficie cultivada creció a expensas de los pastos ocasionando una caída en la cabaña ganadera y una disminución en las posibilidades de fertilización. Como resultado las posibilidades de una mayor intensificación de los cultivos quedaron seriamente limitadas. De nuestros datos se desprende que la intensificación de los cultivos solo fue posible en la extracción de nutrientes de las reservas del suelo.

Además, la reducción de la capacidad neta de fertilización llevó a un manejo menos intensivo de algunos cultivos (los ruedos, por ejemplo) y al estancamiento de la producción *per cápita*. En las décadas finales del siglo XIX, Baena, Montefrío y Castilleja de la Cuesta habían superado, o estaban cerca de superar, las posibilidades de una mayor intensificación de la producción agraria. En algunos cultivos se incrementó la producción,

especialmente los leñosos, pero ello fue solo posible a expensas del reservorio de nutrientes del suelo, convirtiendo estos cultivos en insustentables a medio o a largo plazo.

Durante el siglo XVIII, la extracción de nutrientes para viñedo y olivar fue tolerable por unos manejos muy poco intensivos. Sin embargo, la extracción de nutrientes creció a medida que el cultivo se hizo más intensivo ante la apertura de nuevos mercados nacionales e internacionales.²² La magnitud de los déficits entra en conflicto con la sustentabilidad de la especialización leñosa que ha sido propuesta como una estrategia plausible de crecimiento agrario durante el siglo XIX.²³ Como hemos visto esta especialización se hizo con base en la exportación de capital natural. El hecho de que la expansión de viñas y olivos se hiciera sobre superficies no cultivadas previamente (y, por tanto, con mayor riqueza fertilizante en sus suelos) explicaría por qué este fenómeno no fue observado por los contemporáneos.²⁴

Los resultados de este trabajo coinciden, en líneas generales, con algunos de los textos publicados en este número para Cataluña. De todos ellos es posible extraer una conclusión de importancia: la crisis finisecular debe explicarse no solo por la entrada de trigos baratos en Europa, sino por la entrada en contacto de dos tipos de agricultura con sistemas de reposición de la fertilidad muy diferentes. Los costes territoriales de la agricultura europea, y en mayor medida la mediterránea, eran superiores a los que soportaban las agriculturas americana o australiana. La reposición de la fertilidad requería, a falta de fertilizantes químicos, de cantidades variables de tierra donde producir estiércol o sembrar leguminosas. Europa, cuyas tierras estuvieron cultivadas en forma ininterrumpida durante cientos de años no pudo echar mano, más que tímidamente, de las reservas del suelo. Es más, la intensificación experimentada por la agricultura europea durante los siglos XVIII y XIX provocó una disminución de la tasa de cobertura por las técnicas de fertilización de los nutrientes exportados con las cosechas y agotó a la postre el impulso de especialización productiva y elevación de los rendimientos que siguió a la primera revolución agrícola). No ocurrió así con países como Estados Unidos o Australia, donde las reservas de nutrientes en suelos recién roturados eran muy elevadas. Sus costes territoriales de reposición de la fertilidad fueron comparativamente menores. La crisis agraria finisecular sobrevino, traducida en precios más bajos para los productos agrarios de ultramar, cuando la revolución en el transporte marítimo puso en contacto a los dos tipos de agriculturas con costes territoriales tan dispares. En consecuencia, la escasez relativa de nutrientes, agudizada por la rotura del equilibrio territorial que trajo consigo el crecimiento de la producción agraria durante el siglo XIX en Europa, se encuentra entre las causas profundas que provocaron la crisis finisecular e iniciaron la transición socioecológica en el campo.

Notas

- 1 La investigación que aquí se presenta ha sido posible gracias a la subvención concedida por el MEC dentro del programa nacional de I+D al proyecto de investigación “Transformaciones agrarias y cambios en el paisaje, 1752-2008. Una contribución al estudio de la transición socioecológica en Andalucía”, HAR2009-13748-C03-03.
- 2 Geoff Cunfer y Fridolin Krausmann, “Sustaining Soil Fertility: Agricultural Practice in the Old and New Worlds”, *Global Environment (Italia)* 4 (2009): 8-47. Enric Tello, Ramón Garrabou, Xavier Cussó

- y J. R. Olarieta, "On the Sustainability of Mediterranean Agricultural Systems: fertilizing methods and nutrient balance in Catalonia (Spain), 1850-1936" (Documento presentado en el I Congreso Mundial de Historia Medioambiental; Copenhague, Dinamarca: agosto 2009). Ramón Garrabou y Manuel González de Molina (eds.), *La reposición de la fertilidad en los sistemas agrarios tradicionales* (Barcelona, España: Editorial Icaria, 2010). 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, 10-08 (septiembre 2010). <http://www.historiambiental.org/files/publicaciones/Guideline.pdf>
- 3 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 (abril 2009): 502-510.
 - 4 Los datos de precipitación y ETP para las tres localidades han sido tomados del Proyecto Lucdeme (Montefrío-100; Ministerio de Medio Ambiente, 1997) para Montefrío. Para Castilleja y Baena de la Monografía 22/98 de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, 1998.
 - 5 Enrique Llopis Agelán, "España, la revolución de los modernistas y el legado del Antiguo Régimen", en: *El legado económico del Antiguo Régimen en España*, (ed.) Enrique Llopis Agelán (Barcelona, España: Editorial Crítica, 2004), 11-76.
 - 6 Véanse: Enrique Llopis Agelán, "La crisis del Antiguo Régimen y la Revolución Industrial (1790-1840)", en: *Historia económica de España (Siglos X-XX)*, (eds.) Francisco Comín, Mauro Hernández y Enrique Llopis (Barcelona, España: Editorial Crítica, 2002), 165-202. Sebastián Amarilla, "La agricultura española y el legado del Antiguo Régimen (1780-1885)", en: *El legado económico del Antiguo Régimen en España*, (ed.) Enrique Llopis Agelán (Barcelona, España: Editorial Crítica, 2004), 147-186.
 - 7 Las densidades de población en Castilleja de la Cuesta son mucho más elevadas debido a su localización. La mayor parte de la población no trabajaba en los campos del pueblo sino en actividades no agrarias y como jornaleros en los latifundios del valle del Guadalquivir.
 - 8 Ester Calderón Espinosa, *Manejos tradicionales del olivar en la comarca de los montes orientales (Granada)* (Tesis de Maestría en Agroecología y Desarrollo Rural Sostenible, Universidad Internacional de Andalucía, 2002). Juan Infante Amate, *Ecología e historia del olivar andaluz. Un estudio socioambiental de la especialización olivarera en el sur de España (1750-2000)* (Tesis Doctoral, Universidad Pablo de Olavide, Sevilla, 2011).
 - 9 Las fuentes señalan para Baena una densidad de 100 olivos por hectárea, muy grande para la época. En poblaciones cercanas a Castilleja constatamos una densidad similar.
 - 10 Castilleja de la Cuesta no tenía pastos, encontrando su ganado el alimento en poblaciones cercanas.
 - 11 Una descripción más detallada de la metodología en: Manuel González de Molina, et al., "Guideline for constructing nutrient balance in historical agricultural...".
 - 12 Véase: Manuel González de Molina, "Agroecología e historia agraria. Una hibridación necesaria", en este mismo número.
 - 13 Masahisa Fujita, Paul R. Krugman y Anthony J. Venables, *Economía espacial. Las ciudades, las regiones y la economía espacial* (Barcelona, España: Editorial Ariel, 2000).
 - 14 La rotación duraba dos o tres años y combinaba cereales (trigo y cebada) con leguminosas (habas o, en algún caso, garbanzos), tanto para alimentación animal como humana. Esta rotación, que implicaba además la supresión de los barbechos y un incremento relevante del N gracias a la fijación simbiótica, podemos considerarla como la adaptación mediterránea del sistema de *mixed farming* de la "revolución agrícola".
 - 15 Enrique Calderón Espinosa, *Manejos tradicionales del olivar*. Juan Infante Amate, *Ecología e historia del olivar andaluz...*
 - 16 Resultados obtenidos en ensayos que está realizando el equipo de investigación de Gloria Guzmán Casado. En concreto, durante los últimos seis años se está monitorizando el aumento de N total en el suelo de la entrecalle (con cubierta arvense que se desbrozaba durante el mes de marzo) en una parcela de olivar en condiciones edafoclimáticas comparables con las imperantes en Montefrío. El aumento anual en los contenidos en N total se ha utilizado para estimar la cantidad de N fijado por la vegetación arvense.

- 17 Para familiarizarse con los procesos biológicos y fisicoquímicos implicados en la movilización del N, P y K véase: J. A. Carreira y Roberto García Ruiz, *Biogeoquímica. Enciclopedia andaluza* (Sevilla) Vol. 28 (2008).
- 18 Debido, entre otros factores, a las deficiencias en la fertilización con potasio mantenidas a lo largo del tiempo.
- 19 Manuel González de Molina y Gloria Guzmán Casado, *Tras los pasos de la insustentabilidad. Agricultura y Medio ambiente en perspectiva histórica (siglos XVIII-XX)* (Barcelona, España: Editorial Icaria, 2006).
- 20 Marina Fischer-Kowalski y Helmut Haberl, “Conceptualizing, observing and comparing socioecological transitions“, en: *Socioecological transitions and global change: trajectories of social metabolism and land use*, (eds.) Marina Fischer-Kowalski y Helmut Haberl (Cheltenham, Inglaterra: Edward Elgar Publishing, 2007), 1-30.
- 21 Manuel González de Molina y Gloria Guzmán Casado, *Tras los pasos de la insustentabilidad...* Manuel González de Molina y Yann Pouliquén, “De la agricultura orgánica tradicional a la agricultura industrial: ¿Una necesidad ecológica? Santa Fe (1750-1904)”, en: *La fertilización en los sistemas agrarios, una perspectiva histórica*, (eds.) Ramón Garrabou y José Manuel Naredo (Madrid, España: Argenteria-Visor, 1996), 127-169.
- 22 Antonio López Estudillo, “Crisis finisecular, transformaciones agrarias y atraso económico. Andalucía (1870-1930)”, en: *La historia de Andalucía a debate II. El campo andaluz*, (ed.) Manuel González de Molina (Barcelona, España: Editorial Anthropos - Diputación Provincial de Granada, 2002).
- 23 En el marco del reciente debate sobre el atraso de la agricultura española se ha propuesto la especialización leñosa como alternativa productiva viable. Enrique Llopis Agelán, “La crisis del Antiguo Régimen...”. Pere Pascual y Carles Sudrià, “El difícil arranque de la industrialización (1840-1880)”, en: (eds.) Francisco Comín, Mauro Hernández y Enrique Llopis Agelán *Historia económica de España (siglos X-XX)* (Barcelona, España: Editorial Crítica, 2002), 203-242. Albert Carreras y Xavier Tafunell, *Historia económica de la España contemporánea* (Barcelona, España: Editorial Crítica, 2004). Sobre el comercio de vino y olivar en el marco del comercio exterior de productos agrarios, Gallego y Pinilla sostienen que las restricciones de la demanda internacional limitaron la expansión de los cultivos leñosos. Domingo Gallego, “Historia de un desarrollo pausado: integración mercantil y transformaciones productivas de la agricultura española (1800-1936)”, en: Joseph Pujol, Manuel González de Molina, Lourenzo Fernández Prieto, Domingo Gallego y Ramón Garrabou, *El pozo de todos los males. Sobre el atraso en la agricultura española contemporánea* (Barcelona, España: Editorial Crítica, 2001), 147-214. Domingo Gallego y Vicente Pinilla, “Del librecambio matizado al proteccionismo selectivo. El comercio exterior de productos agrarios y alimentos en España entre 1849 y 1935”, *Revista de Historia Económica* (España) 14, n. 2 (1996): 371-420.
- 24 Aunque a la altura de la crisis finisecular comienzan a oírse quejas sobre los bajos rendimientos y la mala fertilización. Juan Infante Amate, *Ecología e historia del olivar andaluz...*
- 25 El peso vivo de cada tipo de ganado ha sido tomado de los valores medios ofrecidos por García Sanz (1994): Vacuno (371 kg); Caballar y mular (326 kg); Asnal (172 kg); Cerdos (77 kg); Caprino (34 kg); Lanar (30 kg).
- 26 Unidades ganaderas de ganado de trabajo.
- 27 Unidades ganaderas de ganado de renta (lanar, caprino y porcino).
- 28 Las cantidades de estiércol producido por los distintos tipos de ganado han sido tomadas de los *Trabajos Agronómicos (1897-1901)* de las tres localidades estudiadas y son cantidades de estiércol “hecho”, esto es, listo para aplicar, descontadas las pérdidas.
- 29 Este cálculo ha sido realizado a partir de la cantidad de N, P y K retirado con la cosecha y la magnitud del balance negativo, asumiendo que el 5% anual del N y P total y el 2% anual del K total en el suelo están en forma disponible para el cultivo.

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

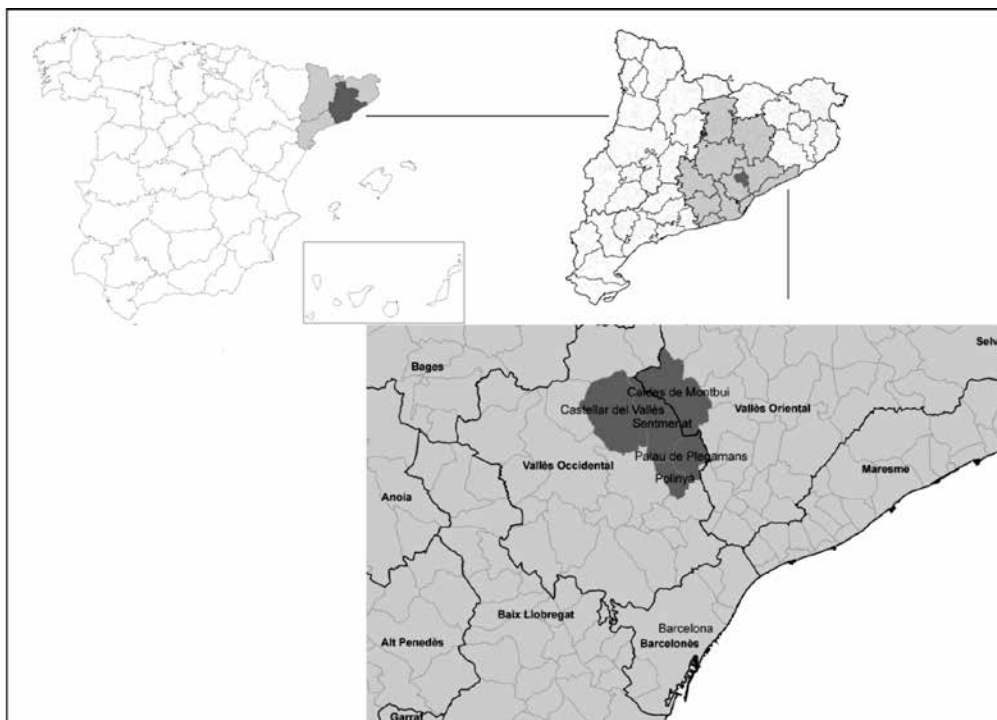
Este trabajo forma parte de un proyecto más amplio que busca aclarar los motivos que llevaron al abandono del manejo tradicional orgánico en las agriculturas del Mediterráneo. Desde el punto de vista de la reposición de nutrientes del suelo, ¿hasta qué punto habían sido sostenibles? ¿Tenían aún esos 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
<i>Total superficie cultivada</i>	<i>1.617,7</i>	<i>100,0</i>	<i>58,8</i>
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)

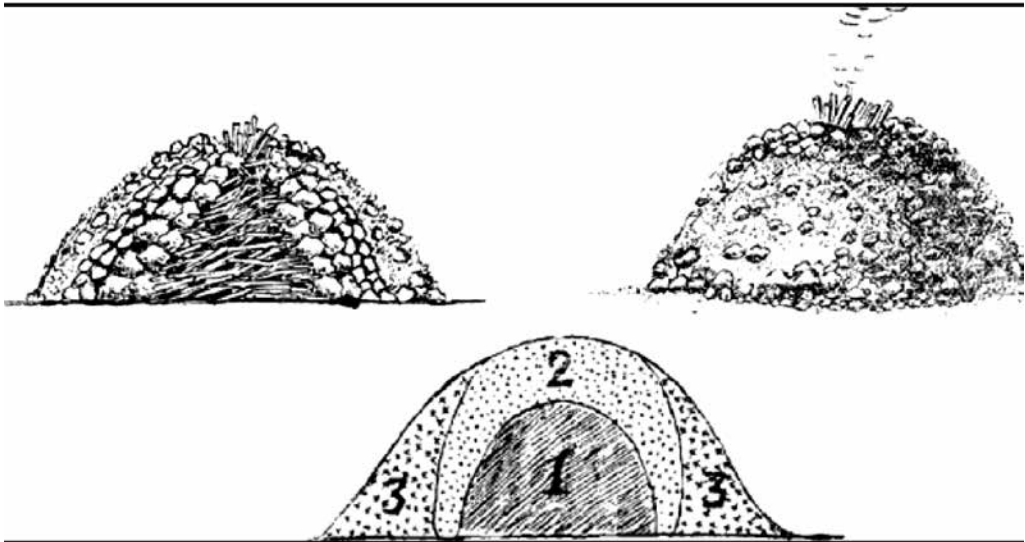
<i>3.1. Producto principal para consumo humano o alimentación animal</i>						
	Peso fresco neto kg	kg N / año	kg P / año	kg K / año		
Trigo de regadío	19.166	353	63			67
Maíz de regadío	17.856	276	49			67
Cáñamo	15.561	230	36			72
Habas	18.323	651	86			315
Trigo de secano	1.879	1.879	337			357
Maíz 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

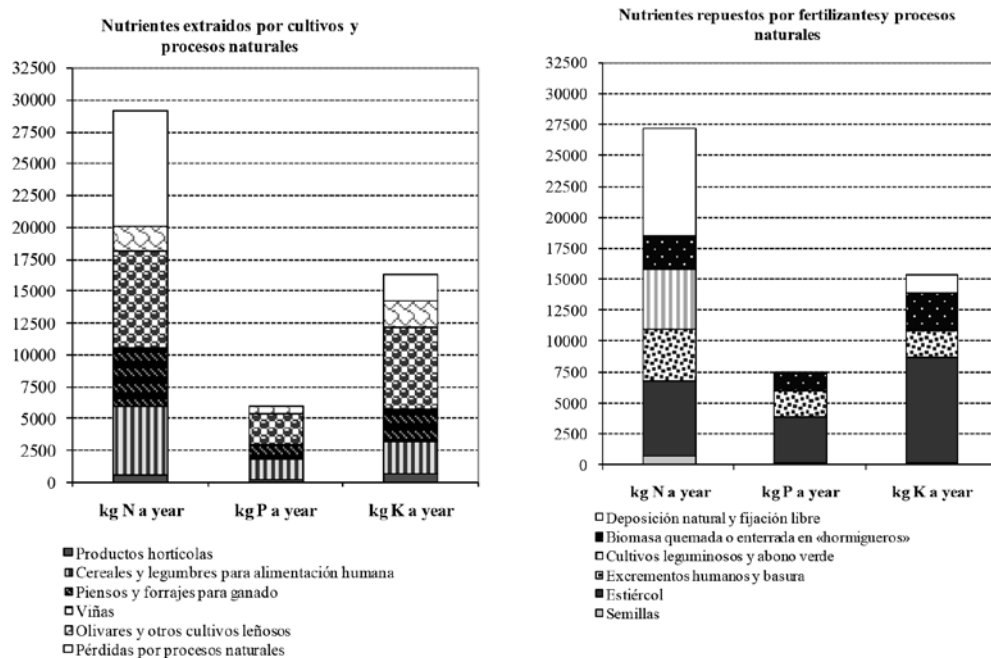
6.1. Contenido de nutrientes de los flujos materiales (N, P, K en kg por año)						
	contenido de N	contenido de P	contenido de K			
1. Deposición atmosférica natural	1.132	0	1.455			
2. Fijación de N por bacterias libres en el suelo	7.584	0	0			
3. Semillas	769	140	205			
4. Estiércol disponible total	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 recalcada. 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.

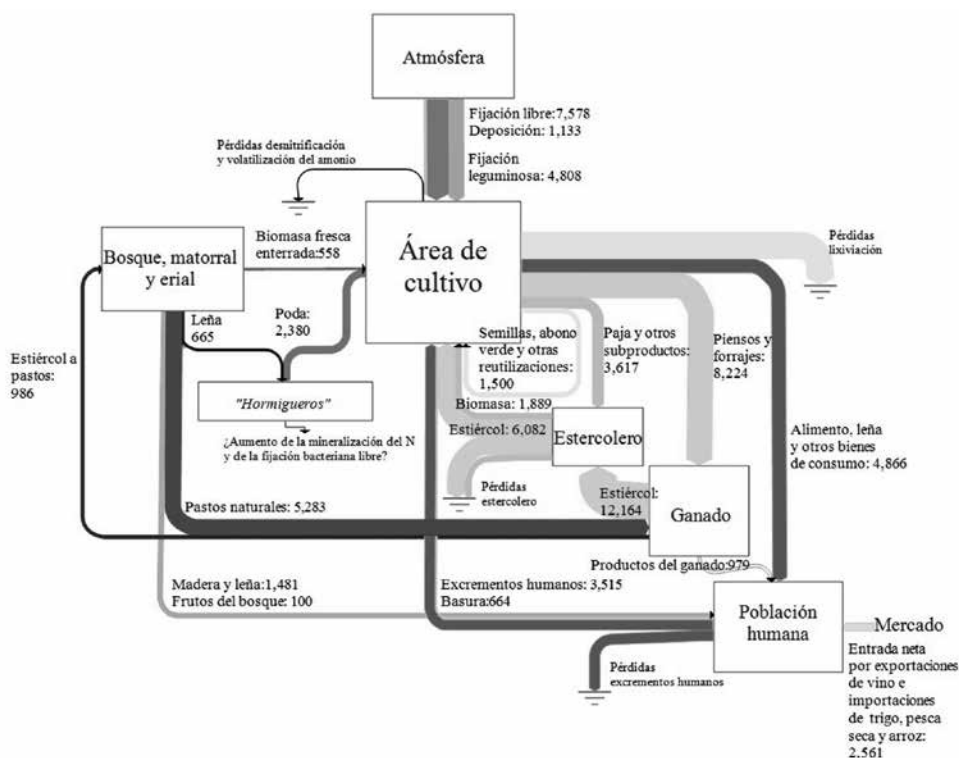
Había, en última instancia, ciertos límites agroecológicos inherentes a cualquier economía agraria de base orgánica que buscara aumentar los rendimientos sin sobrepasar los recursos renovables disponibles a escala local o regional. Antes de llegar a esos límites, aún quedaban algunas posibilidades para 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.