

Trabajo Fin de Grado

Las emisiones de gases de efecto invernadero del sector agrario en Aragón. Potencial de reducción de la contaminación mediante la reutilización de estiércol y purín.

Autor/es

Rafael Lafuente Mozas

Director/es

José Albiac Murillo

Elena Calvo Calzada

Facultad de Economía y Empresa

Año 2015

Índice.

1 INTRODUCCIÓN	5
2 PLANTEAMIENTO, IMPORTANCIA Y OBJETIVOS DEL TRABAJO	9
2.1 Planteamiento e importancia del trabajo	10
2.2 Objetivos	13
3 ZONA DE ESTUDIO	15
3.1 Situación económica del sector agrario.....	16
3.2 Comarcas: emisiones de óxido nitroso y metano	17
3.3 Comarcas: necesidades de abonado	27
3.4 Cantidad de nitrógeno disponible en la zona de estudio	29
4 PROBLEMA DE TRANSPORTE: METODOLOGÍA Y RESULTADOS	31
4.1 Introducción al problema de transporte.....	31
4.2 Aplicación del modelo a la determinación del coste mínimo de transporte.....	34
4.3 Solución del problema.....	35
5 CONCLUSIONES	41
BIBLIOGRAFÍA	43
ANEXOS	45

Índice de figuras y cuadros.

Figuras:

- 1 a) Imagen correspondiente al transporte de purín en tractor. P 12
b) Imagen correspondiente al transporte de purín en camión. P 12
- 2 Componentes del PIB año 2013 en Aragón y España. P16
- 3 Mapa de comarcas de Aragón. P 18
- 4 Emisiones de N₂O procedentes del sector porcino en Aragón. P 21
- 5 Emisiones de N₂O procedentes del sector bovino en Aragón. P 23
- 6 Emisiones de N₂O procedentes del sector ovino en Aragón. P 24
- 7 Emisiones de N₂O procedentes del sector caprino en Aragón. P 25
- 8 Aportes y anotación para destino 1. P 33
- 9 Ejemplo planteamiento Matarraña. P 34
- 10 Cuadro de diálogo de solver con restricciones de cantidad para el ejemplo del Matarraña. P 35
- 11 Matarraña y flujo óptimo. P 37
- 12 La Litera y flujo óptimo. P 38
- 13 Bajo cinca y flujo óptimo. P 39

Cuadros.

1 Población activa agraria en España y Aragón. P 17

2 Factores de emisión por tipo de animal, Metano. P 19

3 Nitrógeno excretado por tipo de animal. P 19

4. Relación tCO₂/Ha en las comarcas de Aragón. P 26

5 Manejo de cultivos en secano. P 28

6 Manejo de cultivos por sistema de riego. P 28

7 Cantidad de Nitrógeno disponible por comarca. P 30

8 Solución óptima del reparto de nitrógeno en la comarca de Matarraña. P 37

9 Solución óptima del reparto de nitrógeno en la comarca de La Litera. P 38

10 Solución óptima del reparto de nitrógeno en la comarca de Bajo Cinca. P 39

1 INTRODUCCIÓN

Los Gobiernos de los países integrantes de la Unión Europea se han comprometido a preparar los inventarios nacionales de emisiones contaminantes de gases de efecto invernadero (GEI) para verificar el cumplimiento del compromiso nacional adoptado para conseguir los objetivos de reducción que se fijaron para el año 2020. En una etapa posterior se adoptarán eventuales medidas de reducción de emisiones. El Inventario, de acuerdo con la Metodología Internacional propuesta por el International Panel on Climatic Change (IPCC), se desarrolla a través de seis sectores básicos: sector de la energía, sector de la industria, sector de los disolventes, sector de la agricultura, sector del cambio de uso de la tierra y reforestación y, por último, sector de desperdicios o de residuos.

La Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA) advirtió en un informe de 2012 que España, junto con Austria, Liechtenstein y Luxemburgo, son los países europeos que necesitan comprar más derechos de emisión de CO₂ en proporción a sus emisiones. Es decir, debe compensar con compras de derechos por las toneladas de más que ha enviado a la atmósfera y cumplir sus compromisos. En este trabajo nos centramos en el cálculo de emisiones contaminantes y normativas que regulan el problema en la agricultura, uno de los sectores básicos.

Como veremos en epígrafes posteriores la agricultura, tanto en España como en Aragón, representa una componente clave en la economía del territorio y se constituye como un factor esencial para el desarrollo rural sostenible. La capacidad para medir las emisiones o absorciones de GEI del sector es limitada por tratarse de una contaminación o captura difusa, y por lo tanto, difícil de medir la cantidad y la fuente de las emisiones. La medición de la contaminación difusa tiene unos costes muy elevados, lo que hace inasumible su medición, al contrario de lo que ocurre en la contaminación localizada, donde se puede medir, cuantificar y controlar las emisiones. Las fuentes difusas o no localizadas engloban todos los tipos de prácticas agrícolas y formas de utilización de la tierra, incluidas las operaciones de producción de los cultivos y producción ganadera. En este contexto, la FAO contribuye con los países para mejorar la calidad de la información sobre las emisiones en la agricultura y para aumentar la visibilidad de la agricultura en las políticas de cambio climático.

Una de las conclusiones a las que se llegó en el protocolo de Kioto fue que uno de los mayores problemas medioambientales a los que se enfrenta la sociedad actual es la conservación de los ecosistemas y la lucha contra el cambio climático. Este problema se ha venido incrementando debido a diferentes factores como la intensificación de las actividades agrícolas y ganaderas y a las presiones de las actividades económicas sobre los ecosistemas. Estos factores responden al crecimiento de la población y de la renta a nivel global. Este crecimiento económico supone un incremento en la concentración de gases de efecto invernadero (GEI): dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) y gases fluorados (Houghton 2001). El aumento en la concentración de dichos gases y su influencia en el cambio climático sobre la sociedad humana y el medio ambiente han sido objeto de amplios debates durante las últimas décadas (Terceiro 2008). Estos factores hacen que cada vez sea más difícil encontrar un equilibrio entre las necesidades humanas y la conservación de los ecosistemas, por lo que nos encontramos ante un importante problema de sostenibilidad.

Asumida la controversia, uno de los principales problemas a los que se va a enfrentar la sociedad actual es definir convenientemente unas medidas de mitigación y adaptación al cambio climático. La dificultad reside en el establecimiento de medidas de actuación comunes que satisfagan las necesidades de los diferentes países, tanto desarrollados como en vías de desarrollo.

En cuanto a la ganadería, los estiércoles procedentes de los animales no son sólo una fuente potencial de contaminación, sino también pueden ser una fuente de materias primas secundarias. La Unión Europea ha adoptado una estrategia en materia de residuos (Resolución 7/05/1990) en la que se establece una jerarquía de opciones de gestión. Se recomienda, en primer lugar, evitar que se generen; en segundo lugar fomentar el reciclado y la reutilización. Los siguientes en la prelación son el aprovechamiento energético y, cuando ninguna de las otras opciones es posible, la estrategia acepta el vertido, pero en condiciones seguras.

En lo que respecta a la normativa relacionada con las emisiones de GEI de la agricultura, cabe resaltar en primer lugar la Directiva de Nitratos de 1991. Se trata de uno de los primeros actos legislativos de la Unión Europea en materia de control de contaminación y de mejora de la calidad del agua. Según ésta, todos los estados

miembros están obligados a analizar los niveles de concentración de nitratos en sus aguas y aportar los resultados a la Comisión Europea. También se establecen zonas vulnerables, donde la concentración de nitratos es muy elevada y se elaboran códigos de buenas prácticas, que han de ser aplicados obligatoriamente por los agricultores en las zonas declaradas vulnerables y que son de aplicación voluntaria en las zonas no vulnerables. Se realizan periódicamente controles para la designación de zonas vulnerables de cara a controlar la eficacia de los programas de acción o modificarlos. La Directiva Marco del Agua, es una normativa de la Unión Europea para la protección de las masas de agua y la mejora de su calidad. Entró en vigor el 22 de diciembre del año 2000 y establece un programa transfronterizo de protección de las aguas basado en demarcaciones hidrográficas.

En segundo lugar, la ya mencionada en materia de residuos (Resolución 7/05/1990) adoptada por la Unión Europea en la que se definen las cantidades máximas de estiércol que pueden ser aplicadas al terrero. Dichas cantidades deberán establecerse de forma que no perjudiquen el cumplimiento de los objetivos especificados y deberán justificarse con arreglo a criterios objetivos tales como: Ciclos de crecimiento largos, cultivos con elevada captación de nitrógeno, alta precipitación neta en la zona vulnerable, suelos con capacidad de pérdida de nitrógeno excepcionalmente elevada. Sugiere seguir, aunque de manera voluntaria, las indicaciones del correspondiente “Código de Buenas Prácticas Agrarias” de cada Comunidad Autónoma. No obstante, en las zonas declaradas por las CC.AA como “Zonas Vulnerables”, la aplicación del “Código de Buenas Prácticas Agrícolas” se convierte en obligatorio y se denomina en este caso “Programa de Acción”, que será específico para cada “Zona Vulnerable” y que recogerá una serie de buenas prácticas agrícolas que tendrán por objeto equilibrar las aportaciones de nitrógeno de las distintas fuentes con la demanda de los cultivos. Estos “Programas de Acción” limitan la cantidad de estiércol a aplicar anualmente a 170 kg/Ha/año, si bien en el primer “Programa de Acción” cuatrienal se podrá permitir una cantidad de estiércol que aporte al terreno hasta 210 kg/Ha/año.

Es necesario señalar que en Aragón existen zonas donde la producción de porcino se encuentra muy concentrada y por lo tanto existe un superávit de purín con respecto a las hectáreas de cultivo en los que se puede utilizar dicho subproducto. Por otro lado, existen otros municipios demandantes de este subproducto por considerarlo una fuente

de energía y utilizar el estiércol como sustituto del abonado mineral. En este trabajo se va a realizar un balance entre las emisiones GEI y también un balance de las necesidades de abonado; el estudio se realizará a nivel comarcal y municipal, al objeto de poder transportar purines y estiércoles a zonas demandantes con menor densidad ganadera. La gran concentración de purines es difícil de solucionar por el coste elevado del transporte del estiércol a zonas distantes. Para abordar esta cuestión se resolverá un problema de optimización en el que en la función objetivo se minimice el coste del transporte de estiércoles hacia producciones agrícolas para su uso en forma de abonado natural satisfaciendo además unas restricciones de oferta y demanda.

Para realizar el trabajo se examina la disponibilidad de nitrógeno de los purines y estiércoles. En primer lugar se calculan producciones ganaderas mediante un recuento a nivel provincial de la cantidad de cabezas de ganado existentes a través del estudio de los datos provinciales aportados por el Gobierno de Aragón mediante el Censo Ganadero y asignando las cabezas a nivel municipal utilizando las plazas administrativas que aparecen en los datos provinciales. A través de este recuento, se pretende establecer un balance en el cual se reflejen las zonas con un exceso o déficit relevante del nitrógeno derivado del nitrógeno disponible de purines y estiércoles, y del nitrógeno que pueden absorber los cultivos.

Con esta información se elabora un problema de optimización de transporte de purines y estiércoles de zonas excedentarias a zonas deficitarias. Este es el principal objetivo, proponiendo diferentes soluciones al problema del excedente de subproductos ganaderos en ciertas comarcas de la comunidad autónoma de Aragón, de forma que se pueda orientar su tratamiento de una manera eficiente y sostenible. Es necesario aportar soluciones a este problema para contribuir a la mitigación del cambio climático. Otros trabajos que ya han abordado la problemática expuesta son los trabajos de Kahill (2011) y Tapia (2014) donde se recogen resultados de emisiones en diferentes zonas de Aragón y se proponen soluciones como la modernización del regadío, los límites de abonado o impuesto sobre agua de riego.

2 PLANTEAMIENTO, IMPORTANCIA Y OBJETIVOS DEL TRABAJO

En este trabajo se examina el balance de emisiones de gases de efecto invernadero en la Comunidad Autónoma de Aragón (España), inspeccionando detalladamente los subsectores agrícola y ganadero. En las actividades de cultivo del sector agrícola se evalúan las emisiones directas de óxido nitroso de los fertilizantes utilizados en el abonado de los cultivos, y las emisiones indirectas de óxido nitroso procedentes del lixiviado y escorrentía de nitrógeno. En las actividades ganaderas se evalúan las emisiones directas de metano provenientes de la fermentación entérica de los animales, y las emisiones indirectas de óxido de nitrógeno y metano provenientes del manejo de los estiércoles. Las emisiones y de GEI indican la situación de contaminación en la que se encuentra el sector primario de la zona. También se calcula la disponibilidad de nitrógeno de los purines y⁷ estiércoles y se analizan las posibilidades de transporte de estiércoles de unas zonas a otras como abonado orgánico.

En lo que respecta al tema de las emisiones y las medidas que se pueden tomar para hacer frente al problema, así como estudios llevados a cabo para observar la viabilidad del sector de la agricultura en Aragón, encontramos una serie de publicaciones que han servido de ayuda para iniciar el presente trabajo. En Kahil (2011), se hace hincapié en la importancia del sector agrícola para el cambio climático como fuente de emisiones y como sumidero de carbono, y se estudia el caso de Aragón mediante la estimación de las emisiones contaminantes de origen agrario, analizando aspectos como las superficies de cultivo y el manejo de los cultivos, así como las actividades ganaderas. El autor propone una serie de medidas de adaptación al cambio climático a través de ciertos escenarios como son la modernización de regadíos, la limitación del abonado y el impuesto sobre el agua de riego. En Tapia (2014), se hace referencia a la contaminación en el sector agrícola pero se hace a una escala de los municipios de la cuenca del Flumen, y presenta una serie de resultados correspondientes a las emisiones para su reducción según los diferentes municipios, tipos de suelo y sistema de riego. El autor recopila información correspondiente a los diferentes tipos de cultivos existentes en cada municipio, así como los sistemas de riego. Para la ganadería se estudia la carga contaminante por tipología de las cabezas de ganado y sus purines y estiércol.

2.1 Planteamiento e importancia del trabajo

El principal problema de la producción ganadera de cara a la reducción de emisiones es el tratamiento de los estiércoles, en el caso del porcino el estiércol líquido porcino (ELP), conocido comúnmente como purín, y estiércol en el caso de vacuno. Ambos contienen una gran cantidad de metano y óxido nitroso. Según algunos autores (Iguácel, Orús y Yagüe 2007) el abonado con estiércol y purín supone una de las mejores alternativas para el tratamiento de éstos y la reducción de la contaminación, por lo que el tema del transporte de estos subproductos de zonas excedentarias a zonas demandantes es de gran importancia. En Iguácel y Yagüe (2007) se señala que la utilización del purín como abonado es la posibilidad más eficiente para el ganadero, siempre que la distancia que separe la producción agrícola del ganadero no sea superior a unos 10 kilómetros. Los costes involucrados en el transporte del purín comprenden el coste de carga, descarga y transporte, los cuales muchas veces hacen que la posibilidad de transportarlo para su uso como abonado resulte inviable. Según Iguácel (2007) la gestión del purín aproximadamente supone un 15,8% de los costes totales del ganadero, por lo que es importante su consideración a la hora de establecer una serie de posibilidades para su tratamiento, de forma que no repercuta negativamente en la economía del ganadero. Las posibilidades que existen para el tratamiento del purín son: utilización del purín como abonado, desecho del purín, y tratamiento en plantas de potabilización para la obtención de agua y compost.

En este trabajo se pretende determinar el modo de envío óptimo entre orígenes y destinos que satisfaga todas las necesidades y minimice el coste total del envío. Se considerarán m orígenes que tienen cierta cantidad de estiércol y que han de enviarse a n destinos para satisfacer unas necesidades de demanda. Además hay un coste unitario C_{ij} relacionado con el envío del estiércol del origen i al destino j .

El paso previo a la formulación del modelo matemático de programación requiere el conocimiento preciso de los recursos, actividades y de sus relaciones. Para el cálculo del balance de emisiones por comarca se van a utilizar las bases de datos 1T proporcionadas por el Gobierno de Aragón y que se encuentran disponibles en la página web del Gobierno de Aragón (www.aragon.es). El recuento de los animales se obtiene de las fuentes de datos suministradas por el Gobierno de Aragón, donde pueden encontrarse datos sobre el censo ganadero y las plazas ganaderas. El censo ganadero es una encuesta

donde se ven reflejadas todas las cabezas de ganado existentes en Aragón. A partir de los datos proporcionados con el censo se procederá a clasificarlos en las plazas ganaderas para establecer una clasificación provincial e identificar las zonas con más problema de sobreproducción de purín. Es necesario resaltar que las plazas ganaderas son menores que los datos aportados por el censo, puesto que una plaza puede ser ocupada al año por más de una cabeza de ganado. El fin de este recuento es hallar las cantidades de purín y estiércol excretado para poder determinar las zonas donde más excedente existe.

Pero hay que tener en cuenta una serie de factores para la utilización del purín y el estiércol como fertilizantes, que condicionan la viabilidad de esta actividad. En primer lugar, existen limitaciones al uso de abonado natural y estiércoles, fijadas en 170 kg N/Ha en zonas vulnerables y de 210 kg N/Ha en zonas no vulnerables. La regulación viene dada por la Orden de 11 de diciembre de 2008 del Departamento de Agricultura y Alimentación y posterior modificación de 10 de septiembre de 2013, así como el código de buenas prácticas agrarias previsto en el artículo 7 del Real Decreto 261/1996, de 16 de febrero. Existe la posibilidad de excedentes entre la cantidad de purín de una producción de porcino respecto a las necesidades de abonado en determinadas zonas, lo que junto a las limitaciones al uso de abonado constituye un problema de optimización que se puede analizar con la metodología de programación lineal aplicada al problema del transporte.

El que una explotación se encuentre en una zona vulnerable supone que el desecho del purín se convierte en un problema importante para el ganadero, puesto que gran parte no puede ser utilizado como abono y debe encargarse de su transporte a otras zonas, lo que en muchos casos supone un coste bastante elevado.

En segundo lugar es necesario resaltar el coste que tiene el transporte de este subproducto desde el lugar de producción porcina hasta las zonas con necesidades de abonado, aproximadamente entre 1 euro y 1,5 euros por metro cúbico y kilómetro, dependiendo de qué medio se utilice (véase figura 1) según aparece en Informaciones Técnicas, nº 178, 2007. Este coste puede suponer que para distancias superiores a 8 kilómetros, no resulte rentable el transporte del purín para su aplicación como abonado.

El coste de carga y descarga es un coste importante que influye de manera significativa en la viabilidad de la utilización de las plantas de depuración.



Figura 1. a) Transporte en tractor y b) transporte en camión

Fuente: <http://www.agroinformacion.com/>

Otra dificultad añadida al tratamiento de purín reside en conocer la composición fertilizante del purín, ya que existe variabilidad entre los purines y por tanto el contenido de nutrientes para abonado es cambiante. También es necesario conocer la cantidad de nitrógeno del purín para poder hacer frente a las limitaciones de la normativa de estiércoles ya señaladas. Finalmente, hay que tener presente que resulta imposible el uso del purín tras un almacenamiento superior a 120 días, por lo que el tiempo de almacenamiento es otro factor a tener en cuenta.

En relación a las zonas declaradas vulnerables, se da la circunstancia de que en algunas se encuentran una gran concentración de producciones de porcino como es el caso de la comarca del Matarraña con Peñarroya de Tastavins, Fuentespalda y Monrroyo, y donde se concentra una parte importante (30% aproximadamente) de la producción de la provincia de Teruel. En el caso de la comarca del Matarraña existe el problema adicional de la existencia de pocos lugares para poder verter el purín como abonado.

Los municipios declarados zonas vulnerables son los siguientes (Mapa de suelos CITA):

- En la provincia de Teruel, las comarcas de Matarraña con Peñarroya de Tastavins, Fuentespalda y Monrroyo; Maestrazgo, con Cantavieja Mirambel y La Cuba; Andorra con Andorra, Alacón y Alloza; el Jiloca con Tormos, Bello y Torralba de los Sisones; Cuencas Mineras con Muniesa.
- En la provincia de Zaragoza, las comarcas de Campo de Daroca, con Las Cuerlas, Langa del Castillo, Mainar, Villareal de Huerva, Villaroya del Campo, Romanos, Lechón y Gallocanta

– En la provincia de Huesca, las comarcas de Hoya de Huesca con Alcalá del Obispo, Alerre, Argavieso, Banastás, Chimillas, Huesca, Lupiñén-Ortilla, Pertusa y La Sotonera; en Somontano de Barbastro con Barbuñales, Berbegal, Laluega, Laperdiguera, Lascellas Ponzano, Peralta de Alcofea y Torres de Alcanadre

A estos Municipios se le añaden zonas como la Ribera Alta del Ebro y zonas de las Cinco Villas en Zaragoza, zonas del Bajo Cinca y la comunidad de Teruel como Candanos y Peñalba, y algunas zonas de La Almunia y Riela.

La cabaña porcina en Aragón tiene un problema adicional que consiste en que la mayor parte de su valor añadido se obtiene fuera del territorio aragonés, sobre todo en Cataluña, de manera que la mayor parte de la producción de porcino que se cría en Aragón (el 60% aproximadamente) es sacrificada en los mataderos de Cataluña. Este aspecto sumado al ya citado problema de los purines ha provocado una corriente de opinión favorable a frenar la expansión de la cabaña de porcino en Aragón. Por otra parte, no se puede olvidar el peso, cada vez mayor, que tiene en el PIB de la región. Supone el 3,5% del PIB aragonés, además de aportar unos 10.000 puestos de trabajo en todo el subsector

2.2 Objetivos

Los objetivos principales de este trabajo son:

- Ampliar la zona de estudio de trabajos anteriores, utilizando datos de todos los municipios de Aragón en lo que respecta a superficie y tipología de cultivos, sistema de riegos, cantidad de cabezas de ganado y tipología, para obtener resultados de emisiones de N₂O, disponibilidad de nitrógeno de los purines y estiércoles, necesidades de abonado de cada municipio y comarca.
- Actualización del censo ganadero con datos de 2013 en lo que se refiere a emisiones, utilizando la metodología aportada por Kahill (2011), obteniendo de esta manera datos fiables en lo que respecta a la emisión de GEI por parte del sector ganadero en Aragón. De esta manera se generaliza el cálculo de las emisiones para todo Aragón puesto que en trabajos anteriores consultados, se encuentran datos de la Cuenca del Flumen-Monegros en 2009.

- Estudiar la viabilidad a nivel comarcal y municipal en las zonas más problemáticas del transporte del estiércol o purín de una explotación a otra para su utilización como abonado. En la actualidad el problema afecta a algunas zonas de Aragón de manera muy significativa, sobre todo a las conocidas como zonas vulnerables (límite de 170 kg/Ha), donde la aplicación de abonado de estiércol se ve limitada por la carga de nitrato , a lo que hay que sumar el agravante de la existencia de poca superficie susceptible de ser abonada en determinadas zonas (el ejemplo más significativo lo encontramos en la comarca del Matarraña).

3 ZONA DE ESTUDIO

La zona geográfica sobre la que se realiza el estudio se corresponde con la Comunidad Autónoma de Aragón, y se centra en las comarcas con una situación más problemática en lo que respecta a emisiones de su ganadería, y el balance de nitrógeno disponible de purines y estiércoles y las necesidades de abonado de los cultivos. Seguidamente se explican las razones de la elección de la zona de estudio así como una visión generalizada de la situación económica de la región.

En Aragón las actividades del sector primario ocupan 3,7 millones de hectáreas sobre un total de superficie de 4,8 millones, y estas tierras se utilizan en la producción de cultivos, la producción ganadera y el aprovechamiento de los bosques. Tapia (2014), señala que las emisiones de gases de efecto invernadero, en Aragón se sitúan en 20 millones de toneladas de CO₂ equivalente. Las emisiones del sector agrario alcanzan 5 millones de toneladas de CO₂, un 20% del total de las emisiones. De las emisiones del sector agrario, las principales emisiones provienen de la ganadería con unas emisiones de metano de 2,8 millones de toneladas de CO₂ equivalentes (Gobierno de Aragón 2009). En segundo lugar están las emisiones de óxido de nitrógeno provenientes del abonado de los suelos, que suponen 1,8 millones de toneladas. En el sector ganadero es de gran relevancia el peso de la cabaña porcina, con 6 millones de cabezas aproximadamente. En 2011, el sector porcino suponía el 60% de la producción final ganadera aragonesa y alrededor del 35% de la producción final agraria. Este elevado valor de producción es consecuencia del gran incremento de la cabaña porcina en las últimas dos décadas lo que provoca que aproximadamente el 13% del total de emisiones de GEI de Aragón provengan del sector porcino. El incremento del sector porcino ha sido de unas 600.000 cabezas desde el año 2012 y de más de un millón si comparamos el inicio de la década.

Los datos que se obtienen del Gobierno de Aragón están muy agregados, de manera que solo se pueden hacer distinciones por provincias, lo que dificulta el estudio de las zonas más problemáticas. Por ello es necesario el tratamiento de los datos que se hace para actualizar y detallar con exactitud las posibles medidas y soluciones a los problemas de contaminación del sector agrario en las zonas más afectadas de Aragón.

3.1 Situación económica del sector agrario

Analizados los principales datos macroeconómicos, se puede señalar que Aragón es una región que se encuentra en una situación económica mejor que la media del país en lo que a PIB y empleo se refiere. El PIB de Aragón en el año 2013 asciende a 32.258 millones de euros, lo que supone un 3,1% del total del PIB español (1.022.988 millones de euros). Con un PIB per cápita de 24.372 euros, se sitúa por encima de la media española. La tasa de paro es del 17% siendo así una de las comunidades con menor porcentaje de paro del país, el cual actualmente se encuentra en el 22,4%.

Comparando los componentes del PIB, se observan algunas diferencias significativas con las del conjunto de España. La agricultura representa el 4% del PIB aragonés en 2013, siendo el componente del PIB de menor peso, con un valor de la producción de 1255 millones de euros. Comparando el dato con resto de España, se observa que la agricultura tiene un peso superior en Aragón, así como la industria, la construcción y el sector energético mientras que el sector servicios tiene un menor peso en la actividad económica.



Figura 2. Componentes del PIB año 2013 en Aragón y España. Instituto Aragonés de Estadística, “Datos básicos de 2014”

En lo que respecta al sector agrario, se observa que su contribución al PIB aragonés supone un porcentaje doble que en el conjunto de España. Esto indica la gran importancia que tiene este sector en la región, que se traduce en un alto nivel de empleo e ingresos para la misma.

Otro de los indicadores de interés son los relacionados con el mercado de trabajo. En el cuadro 1 se incluyen datos relativos a la población activa agraria. Recordamos que la

población activa agraria es la suma de personas que están trabajando y las que se encuentran en búsqueda de empleo en el sector.

Cuadro 1. Población activa agraria en España y Aragón

	SECTOR AGRARIO			% SECTOR AGRARIO/TOTAL DE SECTORES		
	ACTIVOS	OCUPADOS	PARADOS	ACTIVOS	OCUPADOS	PARADOS
NACIONAL	1039100	790900	248200	4,59%	4,72%	4,21%
ARAGÓN	35700	29200	6500	5,64%	5,80%	4,99%
HUESCA	11100	9600	1500	11,37%	12,26%	7,77%
TERUEL	4800	4500	300	7,61%	8,89%	2,40%
ZARAGOZA	19800	15100	4700	4,19%	4,04%	4,77%

Fuente Instituto Aragonés de Estadística. “Anuario Estadístico Agrario”

En el cuadro 1 se observa que el sector agrario aragonés tiene un peso mayor, en términos de población activa y población ocupada, que el resto de España, alcanzando cerca del 6% de la población activa de Aragón. Por provincias, en Huesca y Teruel se superan los porcentajes activos y ocupados para el resto de España. En Huesca con un 7,5% más de ocupados en el sector y en Teruel con un 4% más.

3.2 Comarcas: emisiones de óxido nitroso y metano

Las características del territorio de Aragón, con una baja densidad de población, y una gran concentración de población en la ciudad de Zaragoza, dificultan la prestación de servicios a todos municipios de la región, por lo que la comarcalización supone una solución para la satisfacción de los servicios públicos básicos y la corrección de desequilibrios territoriales. El objetivo de esta división es mejorar el desarrollo y vertebración del territorio de Aragón y, por tanto, afianzar el futuro de la comunidad autónoma. Existen 33 comarcas en las que se estructura el territorio (Véase figura 3).

El objetivo de este apartado es examinar la situación de las comarcas en cuanto a emisiones GEI procedentes de las actividades ganaderas y de la producción de cultivos. También se estima la disponibilidad de nitrógeno de los estiércoles y purines y las necesidades de nitrógeno de los cultivos. En segundo lugar, se pretende optimizar la gestión de purines como abono orgánico de los cultivos, utilizando la programación lineal para minimizar los costes de transporte de municipios con excedente a municipios que precisen abonado orgánico.



Figura 3. Comarcas de Aragón. Fuente: “Portal comarcas”

Una vez efectuado el diagnóstico de las comarcas con mayores problemas relacionados con la contaminación y las emisiones procedentes del sector ganadero y agrícola, se establecerán soluciones concretas para esas zonas.

En este apartado se cuantifican las emisiones GEI procedentes de la ganadería. Para la obtención de los datos referentes a las emisiones del sector ganadero se ha realizado un desglose por municipio del censo ganadero del año 2013 que proporciona información a nivel provincial. Para ello, se ha utilizado la base de datos de plazas solicitadas por las explotaciones y el número real de animales disponibles en cada explotación, con esta información se ha calculado el porcentaje de ocupación de las plazas ganaderas, y se ha estimado el número de animales existentes por municipio. Con la información de la cabaña a nivel municipal se han calculado las emisiones de CH₄ y N₂O siguiendo la metodología de Kahill (2011), que es una combinación entre los métodos de la Agencia Europea del Medio Ambiente y del IPCC.

Las bases de datos utilizadas para el cálculo anterior son el censo ganadero con datos provinciales y la base de datos de plazas del Gobierno de Aragón para el año 2013. En el estudio se ha tenido en cuenta el cálculo de los porcentajes de ocupación de las plazas

puesto que en ciertas explotaciones una plaza puede ser utilizada por más de un animal a lo largo del ciclo productivo de un año. El estudio se ha realizado para el ganado porcino, vacuno, ovino y caprino de cada municipio.

La metodología seguida por Kahill (2011) para llevar a cabo el cálculo de emisiones consiste en, para cada tipo de animal, calcular los Kg de CH₄ por cabeza y año así como la cantidad de N₂O por cabeza y año para obtener la estimación de las emisiones equivalentes. Para el cálculo de dichas cantidades, se utilizan los factores de emisión que se muestran en los cuadros 2 y 3.

Cuadro 2. Factores de emisión por tipo de animal. Metano

Tipo de animal	F.E.A (kg CH ₄ /Cabeza/año)
Vacuno leche	97,92
Vacuno Carne	54,21
Ovino	8,66
Caprino	5
Porcino	1,5

Fuente EEA (2009)

Cuadro 3. Nitrógeno excretado por tipo de animal

Tipo de animal	Nitrógeno excretado (kg/animal/año)
Vacuno leche	80
Vacuno Carne	55
Ovino	8,5
Caprino	29,2
Porcino	8,38

Fuente: Orús (2003)

Para el cálculo de la cantidad de emisiones de CH₄, una vez contabilizado el número de cabezas de animal utilizando los porcentajes de actualización, es necesario calcular la cantidad de CH₄ excretada por cabeza y por año, para lo que utilizaremos los factores de emisión del CH₄ en la fermentación entérica en España recogidos en el cuadro 2. Conocido el valor FEA por animal, para el cálculo de las emisiones de CH₄, en toneladas de CO₂ equivalentes se utilizará la siguiente expresión:

$$\text{Emisiones de CH}_4 \text{ de fermentación entérica} = \sum_{j=1}^m C_j \cdot FEA_j \cdot PC / 1000 \quad (1)$$

Donde C_j corresponde al número de cabezas de animales de tipo j , FEA_j , son los factores correspondientes a las emisiones de CH₄ de la fermentación entérica de

animales de tipo j y PC es el potencial de calentamiento de efecto invernadero, que para el metano es igual a 23.

Para el cálculo de las cantidades de emisiones de N_2O en toneladas equivalentes de CO_2 se sigue el mismo procedimiento que para el CH_4 , utilizando los factores de emisión para el nitrógeno. La expresión para emisiones de óxido nitroso viene dada por:

$$\text{Emisiones de } N_2O \text{ del manejo de estiércol} = \sum_{i=1}^n C_j \cdot N_{exj} \cdot F_{es_k} \cdot 44/28 \cdot PC_{N_2O} / 1000 \quad (2)$$

Donde C_j es el número de cabezas de animal de tipo j F_{es_k} son los factores de emisión de N_2O por sistema de manejo de estiércol k , y PC es el potencial de calentamiento de efecto invernadero, que para el N_2O es igual a 296. La cifra de 44/28 es el ratio del peso molecular entre el óxido Nitroso (N_2O) y el nitrógeno (N).

Una vez explicado el proceso seguido para el cálculo de las emisiones, se presentan los resultados de emisiones de N_2O por tipo de animal en las figuras 4 a 7.

-PORCINO:

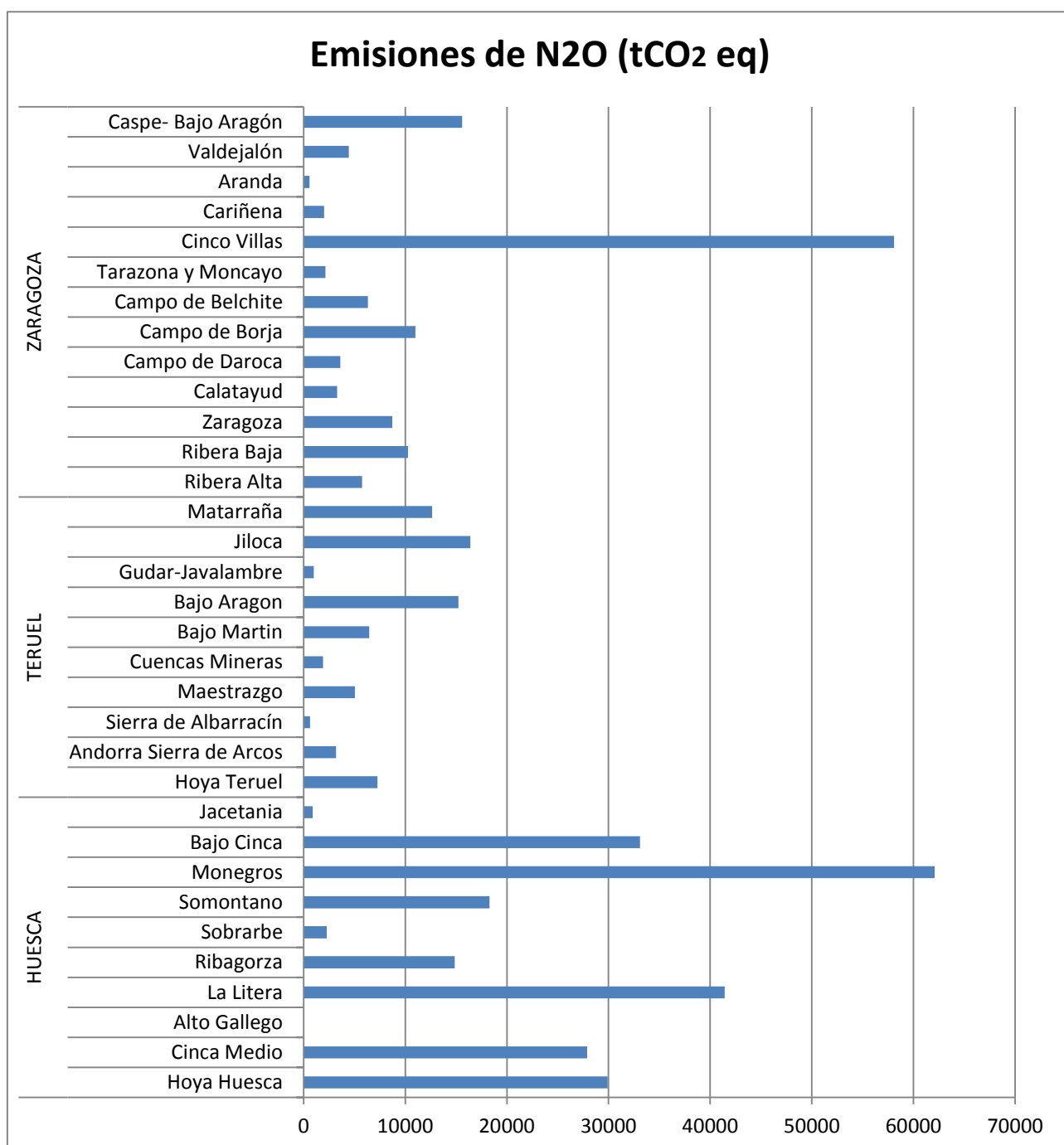


Figura 4. Emisiones de N₂O procedente del ganado porcino en Aragón

En lo que respecta a emisiones, medidas en toneladas de CO₂ equivalente, del ganado porcino se constata que el 39% de las comarcas (13/33) superan las 10.000 toneladas al año y cuatro alcanzan niveles más altos, incluso superiores a 30.000 toneladas, como es el caso de Bajo Cinca, Monegros, La Litera, Hoya de Huesca y Las Cinco Villas.

En algunas zonas declaradas vulnerables por el Gobierno de Aragón, como Matarraña y Jiloca en Teruel, existe un nivel de emisiones de CO₂ muy significativo (Se superan las 10.000 toneladas), y, También hay una elevada cantidad de purines que como veremos más adelante, no disponen de una superficie de cultivo suficiente para poder utilizar el estiércol como abonado, además hay que tener en cuenta el límite que se establece en las zonas declaradas vulnerables, es decir, de 170 kg por hectárea al año. Sucede lo mismo con las zonas de Hoya de Huesca y Somontano de Barbastro en la provincia de Huesca, las cuales tienen varios municipios declarados como zona vulnerable y pueden encontrarse una gran cantidad de purines procedentes de excreción porcina. En el caso de Zaragoza la zona con más aporta de todas es Las Cinco Villas, la cual tiene algunos municipios declarados como zonas vulnerables.

-BOVINO:

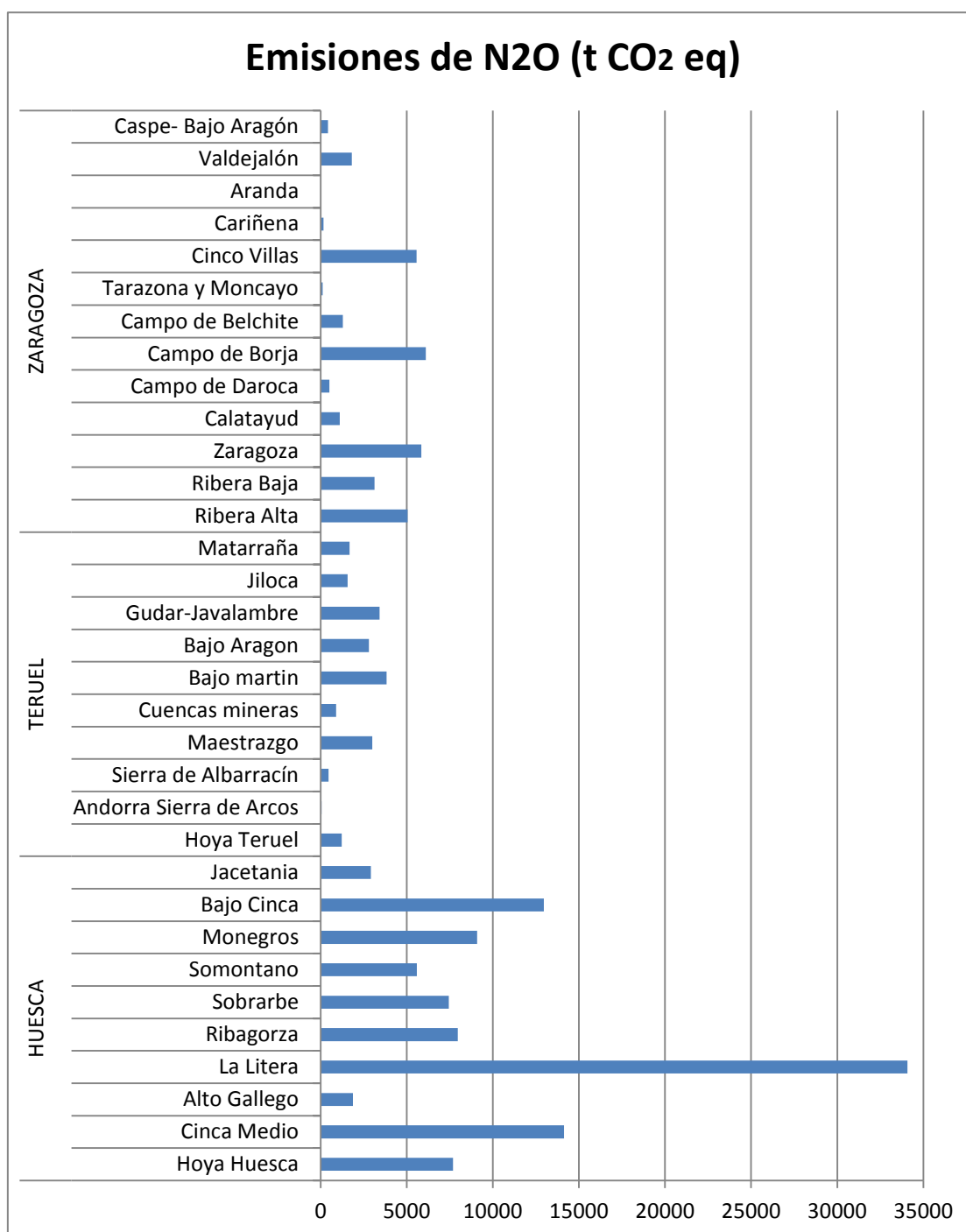


Figura 5. Emisiones de N₂O procedente del ganado bovino en Aragón

Las comarcas con una carga contaminante superior a 10000 tCO₂ equivalente son La Litera, Cinca Medio, Bajo Cinca y Monegros, y próximo a dicha cantidad están la Hoya de Huesca, Ribagorza y Sobrarbe; todas ellas en la provincia de Huesca. Por el

contrario, en las provincias de Zaragoza y Teruel, la mayoría de las comarcas no superan las 5000 toneladas de CO₂ equivalentes.

-OVINO:

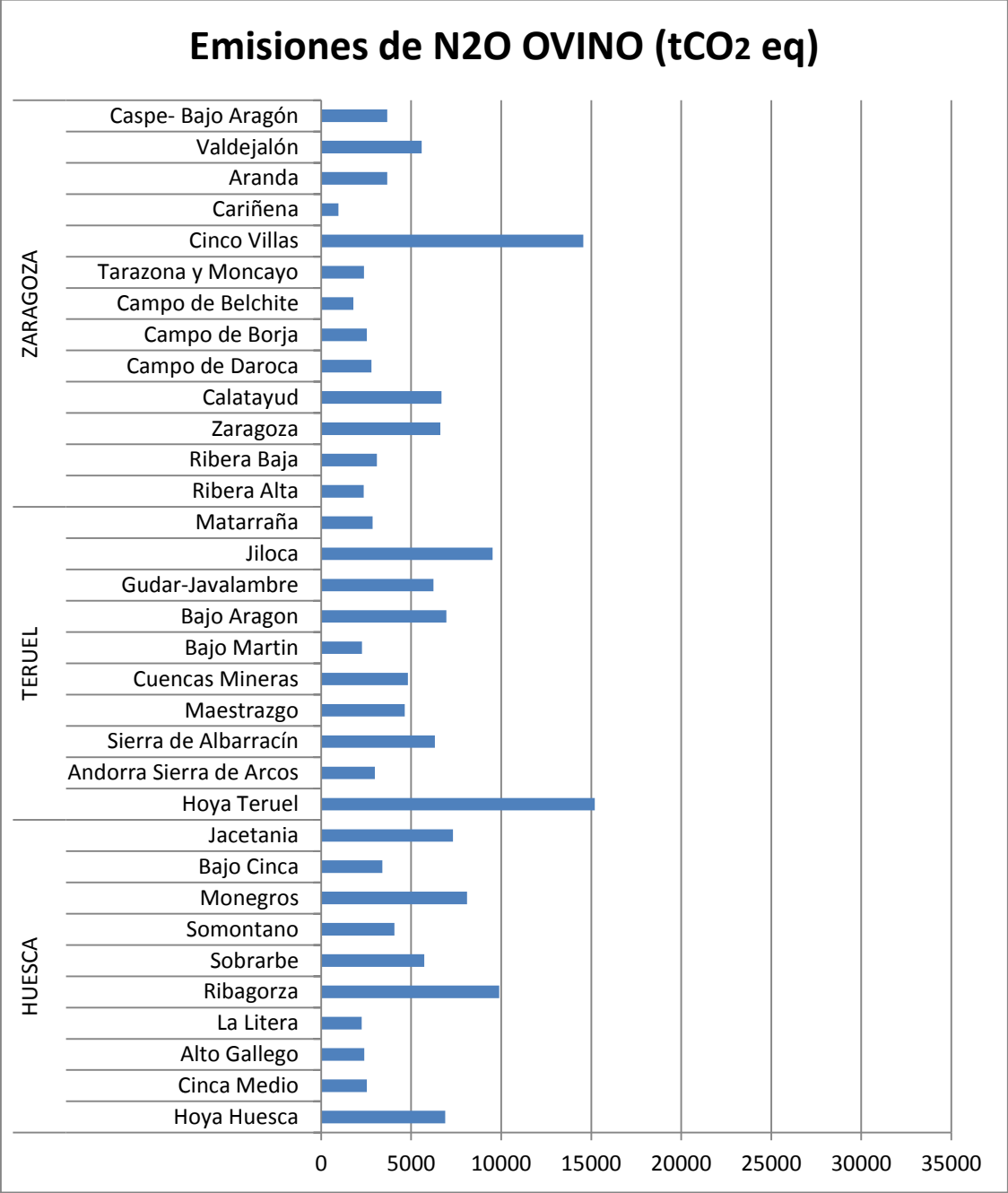


Figura 6. Emisiones de N₂O procedente del ganado ovino en Aragón

Para el ganado ovino, la mayoría de comarcas no supera las 5000 toneladas, aunque, encontramos elevados niveles de emisiones en las comarcas de la Hoya de Teruel en Teruel y las Cinco Villas en Zaragoza, con cerca de 15000 toneladas de CO₂

equivalentes, que junto con las comarcas de Ribagorza, Jacetania, Monegros y Jiloca con casi 10000 tCO₂ constituyen el principal aporte de emisiones.

-CAPRINO:

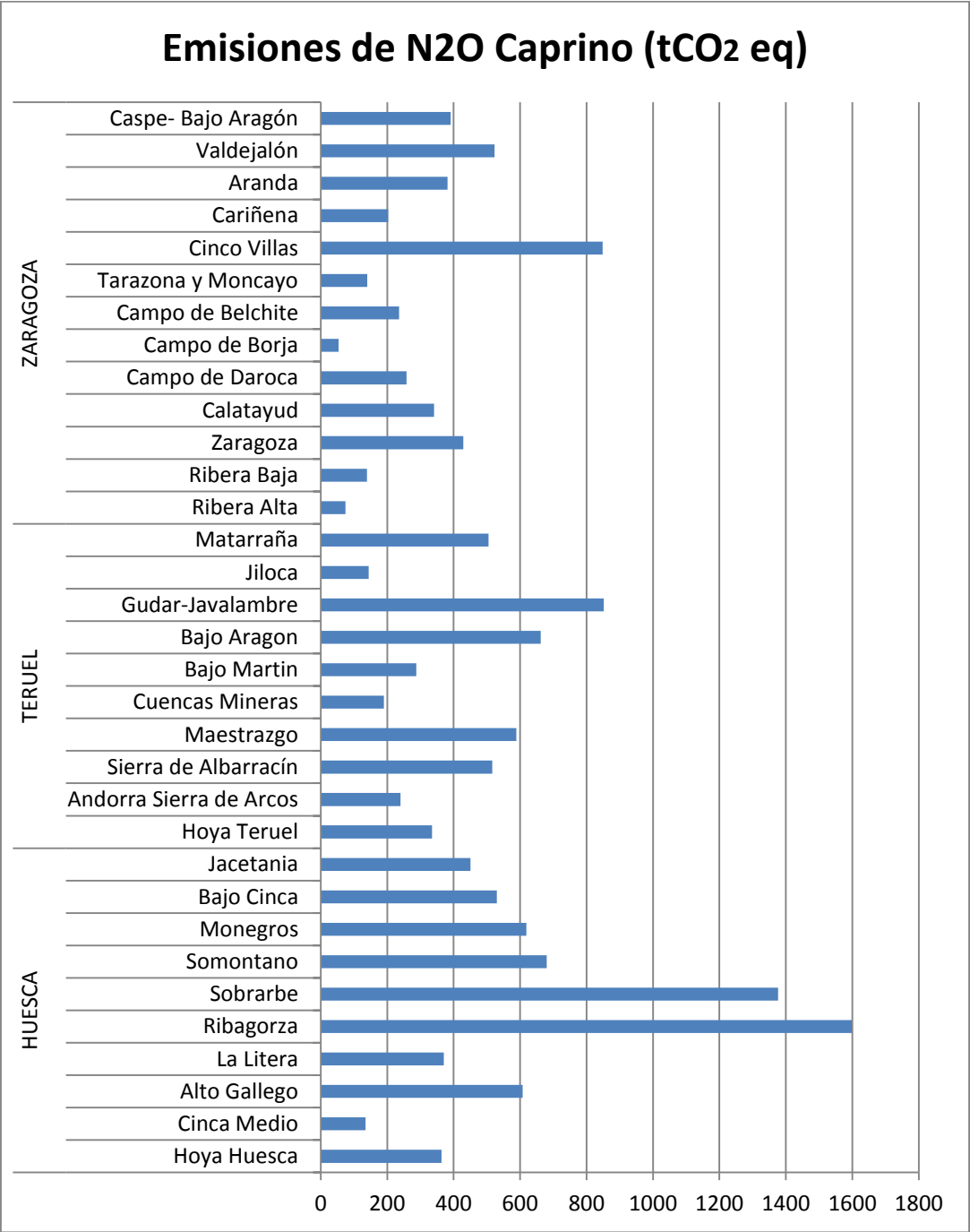


Figura 7. Emisiones de N₂O procedente del ganado caprino en Aragón

En este caso la mayoría de las comarcas no superan el límite de 500 toneladas. Las zonas donde se observa mayor aporte de CO₂ equivalente en cabaña de caprino son Ribagorza y Sobrarbe en Huesca, las cuales oscilan en torno a 1.500 toneladas.

Como se ilustra en los resultados presentados en las figuras 5 a 7, en las que se representa las toneladas de carbono equivalente, se observa que el ganado porcino es el tipo de ganado que más contribuye al aporte de CO₂, debido a la gran cantidad de cabezas de porcino existentes en la comunidad (alrededor de 6 millones), seguido del ganado bovino y ovino. El ganado caprino tiene una incidencia inferior con respecto a emisiones de CO₂ principalmente porque el número de cabezas es sustancialmente menor.

En el cuadro 4 se recogen para las zonas con mayor problemas de emisiones, una relación entre la cantidad CO₂ generado por las diferentes cabezas de ganado y las hectáreas de cultivo

Cuadro 4. Relación tCO₂/Ha

Comarcas		tCO ₂ eq	has	t CO ₂ /ha
HUESCA	Hoya Huesca	44851,3363	109846	0,40831106
	Cinca Medio	44703,0792	33551	1,33239186
	Alto Gallego	4902,88302	5745	0,85341741
	La Litera	78118,7948	39425	1,98145326
	Ribagorza	34315,7814	24469	1,40241863
	Sobrarbe	16838,9638	9938	1,69440167
	Somontano	28611,3884	45291	0,63172349
	Monegros	79905,2844	130808	0,61085931
	Bajo Cinca	49974,1161	46746	1,06905652
	Jacetania	11591,9458	19430	0,5966004
TERUEL	Hoya Teruel	24016,042	58071	0,41356343
	Andorra Sierra de Arcos	6456,38708	12972	0,49771717
	Sierra de Albarracín	7923,14232	9038	0,87664775
	Maestrazgo	13279,4841	6888	1,92791581
	Cuencas Mineras	7812,04736	18188	0,42951657
	Bajo Martin	12828,2461	31390	0,40867302
	Bajo Aragon	25636,8382	38927	0,65858757
	Gudar-Javalambre	11499,9154	10582	1,08674309

	Jiloca	27653,0983	64009	0,43201891
	Matarraña	17677,9378	22345	0,79113617
ZARAGOZA	Ribera Alta	13215,4523	21428	0,61673755
	Ribera Baja	16637,7996	39189	0,4245528
	Zaragoza	21602,239	65540	0,32960389
	Calatayud	11411,4279	52581	0,21702569
	Campo de Daroca	7139,97656	45466	0,15703991
	Campo de Borja	19707,7448	26945	0,73140638
	Campo de Belchite	9638,07109	42578	0,2263627
	Tarazona y Moncayo	4779,10681	8769	0,54500021
	Cinco Villas	79090,285	123377	0,64104562
	Cariñena	3329,3958	34117	0,09758759
	Aranda	4634,09464	5408	0,8568962
	Valdejalón	12345,9794	38092	0,32410951
	Caspe- Bajo Aragón	20084,61	29062	0,69109524
TOTAL ARAGON		772212,895	1270211	

Al observar la relación entre tCO₂ equivalentes y hectáreas, se constata que existen determinadas comarcas que tienen un mayor ratio de emisiones de tCO₂ / superficie de cultivo. Algunos ejemplos son La Litera, Cinca Medio, Maestrazgo, Bajo Cinca, Ribagorza, Sobrarbe, Ribagorza, Gudar Javalambre y Matarraña, todas ellas con un ratio superior a 0,7 tCO₂/Ha.

Se observa que en zonas declaradas vulnerables, como la comarca del Matarraña en Teruel y el Maestrazgo, tienen un elevado ratio tCO₂ por hectárea, así como la Litera.

3.3 Comarcas: necesidades de abonado

Se han calculado las necesidades de abonado de nitrógeno para cada comarca como primer paso para poder llevar a cabo un balance de nitrógeno y observar cuales son las comarcas y los municipios que pueden tener posibilidades de atraer mayor cantidad de purín y estiércol para su uso en forma de abono. El balance permitirá analizar la situación en carga contaminante de nitrógeno de las comarcas y municipios.

Para el cálculo de las necesidades de abonado ha sido necesario contabilizar el número de hectáreas correspondientes a cada tipo de cultivo en cada municipio, para lo que se

han utilizado las bases de datos *IT* proporcionadas por el Gobierno de Aragón en su página web. Se trata de ficheros en formato excel en los que se detallan la cantidad de hectáreas destinadas a cada cultivo. Se ha hecho una distinción entre cultivos de secano y cultivos de regadío y se han seleccionado los siguientes:

- Secano: cebada y trigo dentro de los cultivos herbáceos; y almendro, viñedo y olivo dentro de los cultivos leñosos.
- Regadío: alfalfa, arroz, cebada, maíz y trigo dentro de los cultivos herbáceos; y manzano, peral, melocotón, almendro viñedo y olivo dentro de los cultivos leñosos.

A partir de la obtención del número de hectáreas destinadas a cada uno de estos cultivos, se utiliza el manejo de los cultivos para obtener la cantidad de toneladas de abonado de nitrógeno necesarias. El manejo de los cultivos es el siguiente:

Cuadro 5 Manejo cultivos en secano.

Manejo cultivos secano			
	Rendimiento	Abonado de nitrógeno	Lixiviado de nitrógeno
Cebada	2,8	77	8
Trigo	1,4	45	5
Almendro	0,4	45	5
Viñedo	4,5	45	5
Olivo	0,5	60	6

Fuente: Tapia 2014

Cuadro 6 Manejo de cultivos por sistema de riego.

Manejo cultivos por sistema de riego									
	Cultivo	Rendimiento(t/ha)		Agua de riego		Abonado de nitrógeno		Lixiviado de nitrógeno	
		Inund	Asp	Inund	Asp	Inund	Asp	Inund	Asp
Herbáceo	Alfalfa	15	16,5	10000	8500	85	56	32	21
	Arroz	5		14000		200		50	
	Cebada	3,8	4,6	3750	3000	200	150	38	25
	Maíz	13,5	15	8000	5000	350	275	150	70
	Trigo	4,2	4,7	4600	3700	200	180	48	22
		Inund	Goteo	Inund	Goteo	Inund	Goteo	Inund	Goteo
Leñoso	Manzano	25	30	8000	5333	150	130	45	39
	Peral	16	20	8000	5333	150	130	45	39
	Melocoton	20,5	22,5	7000	4667	200	150	60	45
	Almendra	1,3	1,5	3500	2300	100	80	30	24
	Viñedo	7,9	8,9	4500	2000	120	100	36	30
	Olivo	1,9	2,3	4000	2600	120	100	36	30

Fuente Tapia 2014

Para la obtención de las necesidades de abonado de nitrógeno en regadío es necesaria la asignación del sistema de riego utilizado para cada cultivo. Dicha asignación es la siguiente:

- Para cultivos leñosos, el sistema utilizado de forma general es el goteo, el cual consiste en canalizar el agua con pequeños tubos hasta el pie de cada planta y dejar caer una gota cada cierto tiempo hasta completar las necesidades de cada planta.
- Para el cultivo del arroz, se utiliza siempre el sistema de riego por inundación, que consiste en la inundación de parcelas horizontales.
- En el caso de los cultivos herbáceos que no son arroz, se utiliza el riego por aspersión.

Los resultados detallados por comarcas se pueden encontrar en las páginas de anexos.

3.4 Cantidad de nitrógeno disponible en la zona de estudio

El sector ganadero tiene una gran importancia en la economía de Aragón contribuyendo a generar riqueza en la región, sobre todo el porcino y bovino en determinadas zonas, pero existen problemas relacionados con la ganadería como las emisiones de GEI y el tratamiento de los purines y estiércoles. Existen zonas, con una alta concentración de ganado y pocas hectáreas de terreno, donde estos problemas cobran mayor importancia. Para poder solucionar el problema del tratamiento del purín, una posibilidad es su uso como abonado orgánico para sustituir el abonado mineral en zonas donde la cantidad producida sea menor.

En el cuadro 7, se muestra la cantidad de nitrógeno disponible para cada comarca por toneladas.

Cuadro 7 Cantidad de Nitrógeno disponible en cada comarca

Nitrógeno disponible (toneladas)		N Porcino	N Vacuno	Total N disponible
HUESCA	Hoya Huesca	3214,7	826,9	4041,6
	Cinca Medio	2999,8	1518,8	4518,5
	Alto Gallego	3,4	200,8	204,2
	La Litera	4454	3662,4	8116,4
	Ribagorza	1598,9	855,2	2454,1
	Sobrarbe	246	800,8	1046,7
	Somontano	1964,8	600,7	2565,5
	Monegros	6674,1	977,5	7651,6
	Bajo Cinca	3557,4	1392,8	4950,1
	Jacetania	96,9	313,8	410,7
TERUEL	Hoya Teruel	780,4	132,1	912,4
	Andorra Sierra de Arcos	341,8	5,8	347,6
	Sierra de Albarracín	68	50	117,9
	Maestrazgo	541,8	322,9	864,7
	Cuencas Mineras	205,6	96,3	301,9
	Bajo Martin	692,7	412,1	1104,8
	Bajo Aragón	1636,3	300,4	1936,7
	Gudar-Javalambre	107,9	367,1	475
	Jiloca	1763,8	169	1932,8
	Matarraña	1358,7	181,2	1539,9
ZARAGOZA	Ribera Alta	616,9	542	1158,9
	Ribera Baja	1104,3	336,7	1441
	Zaragoza	937,1	627,8	1564,9
	Calatayud	353,3	118,7	471,9
	Campo de Daroca	386,6	53,6	440,2
	Campo de Borja	1183,2	657,3	1840,5
	Campo de Belchite	679,9	138,1	818
	Tarazona y Moncayo	230,1	12,2	242,4
	Cinco Villas	6245,7	599,1	6844,8
	Cariñena	215,7	17,5	233,2
	Aranda	63,4	0	63,4
	Valdejalón	476,9	193,7	670,7
	Caspe- Bajo Aragón	1677,2	44,8	1722
TOTAL ARAGÓN		46477,3	16528,1	63005

Como se observa en el cuadro 7, existen comarcas donde se concentran elevadas cantidades de nitrógeno correspondientes a la excreción de purín y estiércol. Destacan las zonas de La Litera y Monegros (con más de 7000 toneladas), y las comarcas del Bajo Cinca y el Cinca medio (con mas de 4500 toneladas) en la provincia de Huesca; las comarcas de Bajo Aragón, Jiloca y Matarraña en la provincia de Teruel y las comarcas de Las Cinco Villas, Caspe-Bajo Aragón y Borja en Zaragoza. Se observa que la zona oriental de Aragón tiene una elevada cantidad de nitrógeno disponible, que se asocia con la elevada producción de porcino y vacuno en estas zonas.

4 PROBLEMA DE TRANSPORTE: METODOLOGÍA Y RESULTADOS

4.1 Introducción al problema de transporte

En 1947, Dantzig formuló en términos matemáticos el problema estándar al que se puede reducir todo problema de programación lineal. Dicha modelización se ha utilizado a lo largo de los años en infinidad de aplicaciones de la industria, la economía, la estrategia militar, etc.... En la programación lineal, se maximizan o minimizan funciones objetivo que se encuentran sujetas a determinadas limitaciones técnicas o de recursos que se denominan restricciones. El método de resolución es el algoritmo del simplex, que resuelve los problemas de programación lineal en los que intervienen un elevado número de variables y restricciones. El método se basa en la utilización del álgebra matricial, y del proceso de eliminación de Gauss-Jordan para resolver un sistema de ecuaciones lineales.

Una de las aplicaciones de la programación lineal, muy conocida en el ámbito empresarial, recibe el nombre de *problema del transporte* debido a que se utiliza para analizar problemas de transporte de bienes. Se fundamenta en la necesidad de llevar unidades de un punto específico llamado *fuentes u origen* hacia otro punto específico llamado *destino*. El objetivo de un modelo de transporte es la satisfacción de todos los requerimientos establecidos por los destinos, y la minimización de los costes relacionados con las rutas seguidas.

Hay m orígenes que tienen ciertas cantidades de una mercancía (purines en nuestro caso) que han de enviarse a n destinos para satisfacer unas necesidades de demanda. En

concreto, el origen i contiene una cantidad a_i y el destino j necesita una cantidad b_j . Además hay un coste unitario C_{ij} relacionado con el envío de la mercancía del origen i al destino j . El problema es hallar los envíos entre orígenes y destinos que satisfagan todas las necesidades y minimicen el coste total de los envíos.

El paso previo a la formulación de un modelo matemático de programación lineal requiere el conocimiento preciso de los recursos, las actividades y sus relaciones. Una vez que se conocen, son tres los pasos que hay que seguir. El primero consiste en definir las variables de decisión del problema, es decir, ¿sobre qué cantidades controlables se tiene que tomar una decisión con el fin de alcanzar una decisión óptima? El segundo paso es formular las restricciones del problema, que representan las limitaciones del modelo mediante restricciones individuales que se plasman en ecuaciones o inecuaciones matemáticas. El tercer paso es plantear la función objetivo.

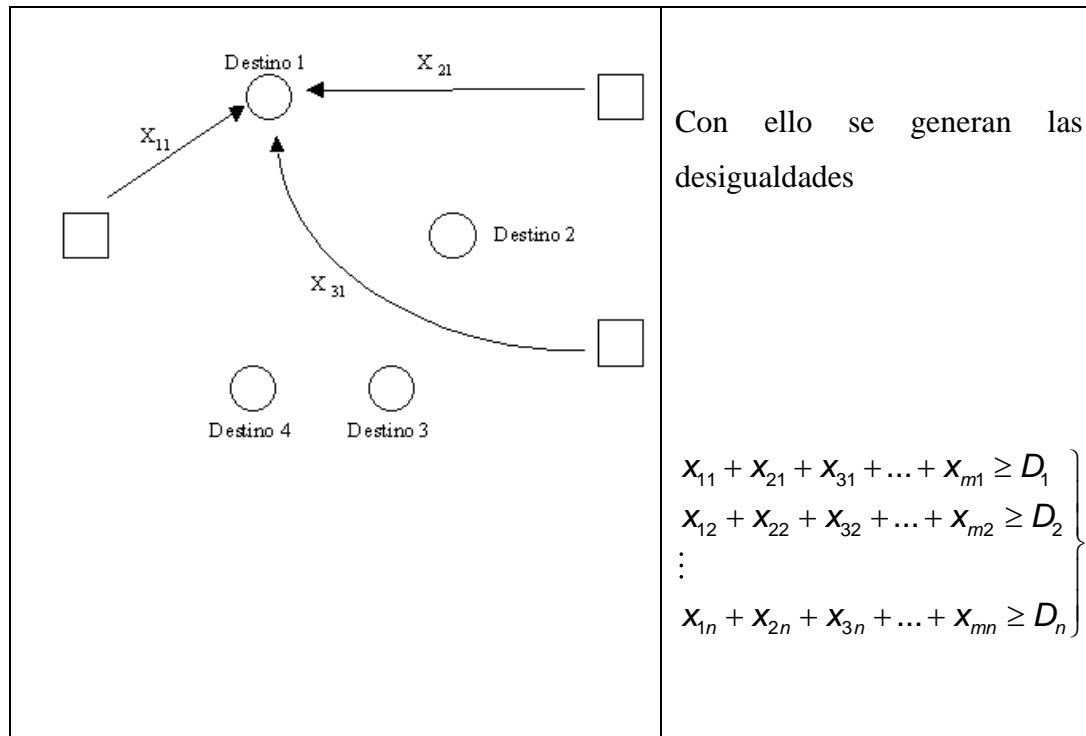
Siguiendo el esquema anterior, las variables de decisión, se denotan de manera algebraica $X_{i,j}$, y representan la mercancía que se envía del origen i al destino j . S_i representa la cantidad disponible en el origen i ($i = 1, 2, \dots, m$) para ser distribuida a uno o más de los destinos y D_j constituye la cantidad requerida por el destino j ($j = 1, 2, \dots, n$) de los diferentes orígenes; C_{ij} representa el coste de enviar una unidad desde el origen i hasta el destino j .

El segundo paso corresponde a la formulación de las restricciones de oferta y demanda. Las variables S_i de oferta y D_j de demanda son variables enteras no negativas. Para S_i se cumple:

$$\left. \begin{array}{l} x_{11} + x_{12} + x_{13} + \dots + x_{1n} \leq S_1 \\ x_{21} + x_{22} + x_{23} + \dots + x_{2n} \leq S_2 \\ \vdots \\ x_{m1} + x_{m2} + x_{m3} + \dots + x_{mn} \leq S_m \end{array} \right\} \quad (1)$$

Gráficamente se ilustra los aportes al destino D_1 y matemáticamente se plasman las inecuaciones para el resto.

Figura 8. Aportes y notación para destino 1.



Finalmente, el tercer paso corresponde a la formulación de la función objetivo, en la cual se especifica el coste correspondiente a cada ruta:

$$Z = C_{11}X_{11} + C_{12}X_{12} + \dots + C_{1n}X_{1n} + C_{21}X_{21} + C_{22}X_{22} + \dots + C_{2n}X_{2n} + \dots + C_{m1}X_{m1} + C_{m2}X_{m2} + \dots + C_{mn}X_{mn}$$

Desde un punto de vista matemático, el problema puede expresarse como la búsqueda de un conjunto $X_{i,j}$ donde $i=1,2,\dots,m$; y $j=1,2,\dots,n$ de modo que se minimice el coste de transporte, sujeto a las restricciones de oferta y demanda:

$$\left. \begin{aligned} &\text{minimizar } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \\ &\text{s.a.} \\ &\quad \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq S_i \\ &\quad \sum_{i=1}^m x_{ij} \geq D_j \\ &\quad \sum_{i=1}^m S_i = \sum_{j=1}^n D_j \\ &\quad x_{ij} \geq 0 \quad \forall i, \forall j \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

4.2 Aplicación del modelo a la determinación del coste mínimo de transporte

Para resolver este problema del transporte se utiliza el programa Excel con dos tablas independientes en la hoja de cálculo. La primera es la tabla de datos iniciales del problema a resolver y la segunda es la tabla solución del problema de optimización, que contiene las cantidades a distribuir de cada origen a cada destino. En la figura 8 se muestra el ejemplo para el planteamiento y resolución del problema para la Comarca del Matarraña

coste por transporte	Cretas	Fórnoles	Monroyo	Rafales	Torre del Comp	Valdeltormo	Valjunquera	FALSO	N disponible	
Beceite	21,195	10000	10000	10000	27	10000	10000	1000000	34577,32	
Calaceite	15,255	10000	10000	10000	27	14,985	26,055	1000000	108400,04	
La Fresneda	10000	10000	10000	21,6	7,425	19,035	8,37	1000000	40467,96	
Fuentespalda	10000	10000	17,685	14,985	10000	10000	10000	1000000	66566,02	
Lledó	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	1000000	78872,56	
Mazaleón	10000	10000	10000	10000	10000	15,255	26,325	1000000	42757,34	
Peñarroya de Tastavins	10000	10000	14,985	22,545	10000	10000	10000	1000000	60188,64	
La portellada	10000	12,69	10000	13,5	14,85	10000	16,47	1000000	47479,98	
Torre de Arcas	10000	10000	9,315	10000	10000	10000	10000	1000000	18898,72	
Valderrobres	13,77	25,65	10000	24,84	10000	10000	14,175	1000000	146487,22	
	132863,92	123217	60066	25843	51466	8927	84163	158149,88		
Cantidades de nitrógeno	Cretas	Fórnoles	Monroyo	Rafales	T del Compte	Valdeltormo	Valjunquera	EXCEDENTE	N DISPONIBLE	
Beceite									0	34577,32
Calaceite									0	108400,04
La Fresneda									0	40467,96
Fuentespalda									0	66566,02
Lledó									0	78872,56
Mazaleón									0	42757,34
P. Tastavins									0	60188,64
La portellada									0	47479,98
Torre de Arcas									0	18898,72
Valderrobres									0	146487,22
NEC ABONO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	132863,92	123217	60066	25843	51466	8927	84163	158149,88		

Figura 9 Ejemplo para el planteamiento del problema para el ejemplo del Matarraña

Se recoge en la figura 8 el coste del transporte entre los municipios de la fila y los municipios de las columnas; es decir, desde los emisores hacia los receptores. Las casillas con un coste de “10000”, indica que no se satisface la restricción de distancia (20 kilómetros) y no existe la posibilidad de tal transporte; se incluye así un coste ficticio, mucho más elevado que el resto, para que el programa no lo considere factible a la hora de calcular los resultados.

Una vez introducidos los datos de coste y las restricciones de suministro y demanda se introducen en el cuadro de diálogo del solver las especificaciones del problema para minimizar el coste y ajustar a las cantidades, tal y como se muestra en la figura 9.

Parámetros de Solver

Establecer objetivo:

Para: ☐ Máx. ☒ Mín ☐ Valor de:

Cambiando las celdas de variables:

Sujeto a las restricciones:

- \$P\$54 >= \$P\$55
- \$Q\$54 >= \$Q\$55
- \$R\$54 >= \$R\$55
- \$S\$54 >= \$S\$55
- \$T\$54 >= \$T\$55
- \$U\$54 >= \$U\$55
- \$V\$54 >= \$V\$55
- \$W\$54 >= \$W\$55
- \$X\$44 = \$Y\$44
- \$X\$45 = \$Y\$45
- \$X\$46 = \$Y\$46
- \$X\$47 = \$Y\$47
- \$X\$48 = \$Y\$48

☒ Convertir variables sin restricciones en no negativas

Método de resolución:

Método de resolución

Seleccione el motor GRG Nonlinear para problemas de Solver no lineales suavizados. Seleccione el motor LP Simplex para problemas de Solver lineales, y seleccione el motor Evolutionary para problemas de Solver no suavizados.

Ayuda Resolver Cerrar

Figura 10. Diálogo de Solver con las restricciones de cantidad para el ejemplo de Matarraña

Una vez acabado el procedimiento, el problema facilita los resultados que se pueden ver en el epígrafe 4.3 en los cuadros 7, 8 y 9 para cada una de las zonas de estudio.

4.3 Solución del problema

El primer paso consiste en identificar los municipios que pueden ser donantes de abonado orgánico y cuáles pueden ser receptores. Para hacer esta distinción se lleva a cabo un balance donde se contabiliza la cantidad de nitrógeno que se obtiene de los diferentes tipos de ganado y las necesidades de abonado de nitrógeno de los cultivos a nivel municipal, y si las necesidades de abonado de un municipio son superiores a la cantidad de nitrógeno disponible a través de la ganadería, este municipio se considera receptor y viceversa. El objetivo es poder distribuir de una manera óptima los excedentes de purín para su uso como abono orgánico.

En este caso se va a estudiar la situación de las comarcas en centrada en el ganado porcino y bovino, que son los tipos de ganado que más nitrógeno aportan. La selección de las zonas de estudio coincide con las zonas en las que la situación con respecto al ganado porcino y bovino se encuentra en una situación crítica en cuanto a cantidad de purín y estiércol generado y su tratamiento. Las zonas objeto de este estudio coinciden en tener un elevado ratio de emisiones GEI tCO₂/Ha, y algunas están declaradas como zona vulnerable (Matarraña) de manera que la problemática es mayor. La razón es que en las zonas declaradas vulnerables está muy limitada la cantidad de abonado orgánico que puede aplicarse a los suelos. Para el estudio se han elegido las comarcas del Matarraña, Bajo Cinca y la Litera, ya que en estas comarcas los problemas de carga de nitrógeno son más importantes. En el caso del Matarraña, el principal problema que se observa aparte de unos altos niveles de emisiones GEI procedentes del ganado porcino, es que no existe superficie de cultivo suficiente para utilizar todo el abono orgánico procedente del ganado. En los casos del Bajo Cinca y de La Litera, se observa que tanto el ganado porcino como el ganado bovino tienen un aporte de GEI superior a las 10000 toneladas de CO₂ equivalentes para los dos tipos de ganado.

Dentro de las comarcas es necesario identificar qué municipios pueden ser receptores y cuales emisores de nitrógeno. Para ello se realiza el balance de estas comarcas para identificar municipios receptores y emisores de nitrógeno.

Una vez catalogados los municipios como emisores y receptores, se analiza la distancia en kilómetros a la que se encuentran los municipios emisores y receptores y se establece cuales cumplen la restricción kilométrica (inferior o igual a 20 kilómetros) y se observan cuáles pueden ser las posibilidades de reparto, utilizando un coste de 1,38 euros el kilómetro, en el que se incluye el coste de carga y descarga, y el medio de transporte.

Para la solución del problema se utiliza el paquete Solver incluido en la aplicación Excel, de manera que se introducen las restricciones de demanda correspondientes y se obtienen las cantidades de reparto de nitrógeno óptimas para cada destino desde cada punto de origen posible. Los resultados se muestran en los cuadros 7, 8 y 9.

En los cuadros 8, 9 y 10 se denota con “_” la situación en la que el destino se descarta por restricción kilométrica, “0” representa que cumple la restricción kilométrica pero no se satisface por coste superior de transporte hacia otros municipios.



Figura 11. Matarranya y flujo óptimo

Cuadro 8 Solución óptima del reparto de nitrógeno en la comarca del Matarranya

MATARRAÑA	Cretas	Fórnoles	Monroyo	Rafales	Torre del Compte	Valdeltormo	Valjunquera	excedente	N disponible
Beceite	0	—	—	—	0	—	—	53160,027	53160,027
Calaceite	56764,644	—	—	—	4195,882	5870,778	0	51525,518	118356,822
La Fresneda	—	—	—	0	47270,118	0	0	0	47270,118
Fuentespalda	—	—	0	11104,991	—	—	—	61573,113	72678,104
Lledó	—	—	—	—	—	—	—	78872,56	78872,56
Mazaleón	—	—	—	—	—	0	0	46651,329	46651,329
Peñarroya de Tastavins	—	—	20612,933	0	—	—	—	47560,849	68173,782
La portellada	—	47726,435	—	0	0	—	0	0	47726,435
Torre de Arcas	—	—	39453,067	—	—	—	—	0	39453,067
Valderrobres	68557,753	75490,565	—	0	—	—	84163,38	0	228211,698
Nec nitrógeno	125322,397	123217	60066	11104,991	51466	5870,778	84163,38	339343,396	



Figura 12 Mapa La Litera

Cuadro 9 reparto óptimo

La Litera

La Litera	Azanuy-Alins	Baells	Esplús	Peralta de Calasanz	San Esteban de Litera	Excedente	N disponible
Albelda	—	0	—	—	—	321187,702	321187,7022
Alcampell	—	15586,8644	—	—	—	438741,836	454328,7005
Altorricón	—	0	—	—	—	1023900,6	1023900,598
Baldellou	—	—	—	—	—	2034,46678	2034,466776
Binéfar	144983,7616	—	18680,41622	—	0	0	163664,1779
Camporrélls	—	0	—	—	—	64661,5817	64661,58173
Castillonroy	—	0	—	—	—	183506,466	183506,466
Tamarite de Litera	—	0	277409,8858	163104,3304	341878,197	414322,972	1196715,385
Nec nitrógeno	144983,7616	15586,8644	296090,302	163104,3304	341878,197	2448355,62	



Figura 13 Mapa Bajo Cinca Cuadro 9,

Cuadro 10 solución óptima del reparto de nitrógeno en Bajo Cinca

Bajo Cinca	Belver de Cinca	Mequinenza	Ontiñena	Torrente de Cinca	Excedente	N disponible
Ballobar,	—	—	0	—	230064,0262	230064,026
Chalamera	0	—	80226,28978	—	86000,25118	166226,541
Fraga	—	311572	—	23416,37796	28664,23089	363652,609
Osso de Cinca	221120,189	—	0	—	108402,2656	329522,455
Velilla de Cinca	—	—	0	0	36940,60733	36940,6073
Zaidín	0	—	—	0	626551,0052	626551,005
Nec Nitrógeno	221120,189	311572	80226,28978	23416,37796	1116622,386	

Los resultados de la optimización para la comarca del Matarraña indican que, aún con una distribución que permita satisfacer las necesidades de abonado de nitrógeno en todos los municipios receptores, existe una gran cantidad de excedente de purín como consecuencia de la elevada producción de porcino en esta zona. No hay que olvidar que en estas zonas existen limitaciones al uso de purín como abonado, por ser zonas declaradas vulnerables lo que en algunos municipios no se puede satisfacer todas sus necesidades de abonado orgánico, al estar vigente la restricción de 170 kg por hectárea al año. Es decir, se sigue utilizando abonado mineral, que no se permite sustituir por abonado orgánico.

Para las comarcas de Matarraña y Maestrazgo, el transporte de abono orgánico desde los municipios emisores permite a estos eliminar parte de su problema de excedente y minimizar el impacto del nitrógeno, aunque como se ha visto, es necesario combinar el abonado orgánico con otras formas de tratamiento para solucionar el problema, puesto que la cantidad de excedente sigue siendo importante.

En el caso de la comarca del Bajo Cinca, la cantidad de nitrógeno aportado por la cabaña porcina no es suficiente para satisfacer la cantidad de nitrógeno necesario para el abonado de las hectáreas de cultivo, pero debido a la gran cantidad de ganado bovino de la comarca, la cantidad de nitrógeno procedente de los dos tipos de ganado es suficiente para satisfacer las necesidades de abonado de nitrógeno. El problema del excedente también está presente en esta comarca, con una cantidad de 1116 toneladas de nitrógeno. Existen algunos municipios emisores que, debido a la distancia a la que se encuentran de los municipios receptores, no pueden enviar el total del nitrógeno que tienen disponible, como es el caso de Zaidín. En esta comarca existe el problema de que aún con un reparto óptimo, existen municipios que no pueden solucionar sus problemas excedentarios (Zaidín) así como otros que no pueden satisfacer sus necesidades de abonado de nitrógeno (Mequinenza y Ontiñena). Esto se debe a que en estos casos debido a los factores tanto de distancia como de coste no resulta rentable distribuir purín desde algunos municipios a otros.

En el caso de la comarca de La Litera, podemos observar que la cantidad de excedente son 2448 toneladas de nitrógeno, la mayor cantidad de excedente de los tres ejemplos. La Litera es la comarca donde más importancia desempeña el sector vacuno, además de una

importante presencia del sector porcino. Como se observa en el cuadro 8, se pueden cumplir las demandas de los municipios demandantes con holgura.

5 CONCLUSIONES

En este trabajo se ha llevado a cabo un análisis de la contaminación en el sector primario en Aragón. Por una parte se ha llevado a cabo la elaboración de un balance de contaminación de Gases de Efecto Invernadero por parte de la ganadería en Aragón, y por otra parte se ha contabilizado la cantidad de nitrógeno disponible para poder ser utilizado como abonado orgánico, y se ha propuesto un problema de programación lineal de transporte para poder distribuir dicho abonado orgánico de una manera óptima. Para poder llevar a cabo estas estimaciones se ha partido de la distribución de superficie de secano y de regadío de los cultivos mas importantes, agrupándolos por municipio y por comarca.

Se ha observado que en Aragón, la contaminación que proviene del sector primario procede en su mayoría de las producciones ganaderas, y existen comarcas en Aragón donde las emisiones de GEI son notablemente superiores a la media, con unos elevados ratios tCO₂/Ha, debido a la gran densidad de ganadería que se encuentra en la zona.

Por su parte, el nitrógeno disponible es superior en aquellas zonas en las que se concentra una gran cantidad de producción de porcino y de vacuno. En el caso de Aragón, coincide con la zona oriental, con comarcas como la Litera, Bajo Cinca, Matarraña, Cinca Medio, Caspe-Bajo Aragón o Monegros.

La acumulación de nitrógeno es un tema de gran importancia para la protección del medio ambiente, puesto que este nitrógeno se arrastra en escorrentía y su destino final son las masas de agua, como los ríos. Por ello se han declarado zonas vulnerables a lo largo de todo Aragón, donde se limita la aplicación de abonado, estableciendo unos límites para el abonado orgánico de 170 kg por hectárea al año.

La aplicación de purín y estiércol como fertilizante es el método más económico para la gestión de los residuos ganaderos, además de ser una forma de reciclaje que contribuye a la mejora de las condiciones agrícolas. Pero la utilización de estos subproductos como abonado está sujeta a una serie de restricciones (distancia, coste de carga y descarga,

límites de aplicación en las zonas vulnerables) que hacen que esta solución en muchas ocasiones sea inviable.

Se ha utilizado la programación lineal para plantear el transporte de purines y estiércoles entre zonas excedentarias y deficitarias. Los resultados muestran que el uso de estiércoles como abonado da solución a las necesidades de los municipios, aunque el problema es la gran cantidad de excedente que queda una vez hecho el reparto. Esto indica que en las zonas donde existe esta problemática es necesario combinar distintas soluciones para el tratamiento del purín, tanto para su uso para abonado como el tratamiento para uso de biogás, el tratamiento de depuración, el tratamiento de nitrificación-desnitrificación en plantas especializadas. El uso de plantas de tratamiento de purín y estiércol es una práctica poco extendida y que tiene unos costes elevados. La aplicación de purín y estiércol como abonado orgánico también tiene limitaciones como distancia, coste de carga y descarga y la disponibilidad de cultivos que necesiten abonado.

Ante esta problemática debería plantearse la desaceleración del incremento de la producción de porcino que viene produciéndose en los últimos años, donde la cabaña porcina en Aragón se ha incrementado notoriamente (600000 cabezas en los últimos dos años). Este tema es de gran sensibilidad económica para la región puesto que este sector ha sido capaz de mantener los más de 10000 puestos de trabajo con los que cuenta a lo largo de los años de la crisis económica, por lo que existen diferentes puntos de vista sobre lo que supone el crecimiento de dicho sector en Aragón. Es necesario encontrar una fórmula sostenible para los ganaderos que les permita desechar el purín y estiércol de una forma viable y respetuosa con el medio ambiente.

Este trabajo muestra que es posible dar solución en algunos municipios que se encuentran con un problema de excedente de purín y estiércol y por tanto, con un excedente de nitrógeno perjudicial para el medio ambiente a través de la fórmula del uso del purín y estiércol como abono orgánico, pero se trata de una solución que no es suficiente, debido a que sigue quedando una importante cantidad de nitrógeno como excedente.

BIBLIOGRAFÍA

Comisión Europea. 1991. Directiva del consejo 91/676/CEE, de 12 de diciembre de 1991, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura Doce 375/L. Official Journal of the European Union. Luxemburgo.

Gobierno de Aragón. 2009a. Estrategia aragonesa de cambio climático y energías limpias. Departamento de Medioambiente. Zaragoza.

España (1997). DECRETO 77/1997, de 27 de mayo, del Gobierno de Aragón, por el que se aprueba el Código de Buenas Prácticas Agrarias de la Comunidad Autónoma de Aragón y se designan determinadas áreas Zonas vulnerables a la contaminación de aguas por los nitratos procedentes de fuentes agrarias.

Iguácel, F., Yagüe, M., Orús, F. y Quílez, D. 2007. *Estimación de costes de sistemas y equipos de aplicación de purín*. Informaciones Técnicas 178. Centro de Transferencia Agroalimentaria. Departamento de Agricultura y Alimentación. DGA. Zaragoza.

Instituto Nacional de Estadística. 2013. *Censo Agrario 2013*. Madrid.

Kahil M.T. 2011. *Instrumentos de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático en la Agricultura de Aragón*. Tesis de Máster en Planificación Integrada para el Desarrollo Rural y la Gestión del Medioambiente. CIHEAM.

- Varios (José A Gómez Limón y Ernest Roig coordinadores) *La sostenibilidad de la agricultura española*

Mema M. 2006. Las políticas de control de la contaminación difusa en el valle medio del Ebro. Tesis doctoral. Universidad de Zaragoza. Zaragoza.

Orús F. (Coordinador). 2006. Fertilización nitrogenada: Guía de actualización. Informaciones Técnicas, Número extraordinario. Centro de Transferencia Agroalimentaria. Dirección General de Desarrollo Rural. Zaragoza.

Orús F, D. Quílez y J. Betrán. 2000. *El Código de buenas prácticas agrarias (I): Fertilización nitrogenada y contaminación por nitratos*. Informaciones técnicas no93. Servicio de Formación y Extensión Agraria. Dirección General de Tecnología Agraria. Zaragoza.

Sierra I. 2005. *El sector porcino en Aragón. Problemática técnica, económica y ambiental*. Prensas Universitarias de Zaragoza. Zaragoza.

Tapia Barcones, J. (2014) *La gestión sostenible del regadío en la Cuenca del Flumen*. Universidad de Zaragoza.

Terceiro Lomba, J. 2008. *Economía del Cambio Climático*. Segunda Edición. Ed. Taurus, Madrid.

Santori, G. (2005) *Solución de modelos de programación lineal en una hoja de cálculo. Problemas de transporte y asignación*. Universidad Nacional de la Plata, Facultad de Ingeniería de la Producción Industrial. Buenos Aires

Aplicación Solver, Microsoft Excel (2010)

ANEXOS

	Necesidades de abonado de nitrógeno cultivos secano (Toneladas)					
	Herbáceo		Leñoso			
	cebada	trigo	almendro	viñedo	olivo	TOTAL
Alto Gállego	86,8	79,6	0,0	0,0	0,0	166,4
Andorra-Sierra de arcos	423,0	35,4	24,2	8,0	124,1	614,5
Aranda	119,2	30,5	98,5	14,3	18,3	280,8
Bajo Aragón	679,4	46,8	341,5	9,7	507,8	1585,2
Bajo Cinca	957,1	61,7	94,4	1,7	37,9	1152,8
Bajo Martín	530,0	30,3	72,4	8,4	101,2	742,3
Campo de Belchite	614,1	497,1	49,4	17,4	6,3	1184,3
Campo de Borja	230,7	189,5	176,0	190,7	22,8	809,7
Calatayud	1410,7	391,3	296,6	187,3	22,9	2308,8
Cariñena	285,2	405,4	56,7	423,9	19,9	1191,0
Caspe	324,4	101,7	237,6	23,1	203,3	890,0
Cinca Medio	208,1	11,2	5,4	0,8	14,0	239,4
Cinco Villas	2314,2	827,6	43,8	9,8	7,6	3203,0
Cuencas Mineras	520,4	246,2	26,6	11,3	4,0	808,6
Daroca	1326,1	609,3	87,2	46,4	3,6	2072,6
Gudar-Javalambre	222,3	89,6	14,4	0,1	0,0	326,4
Hoya de Huesca	3971,6	826,5	204,8	21,4	45,5	5069,7
Hoya de Teruel	1747,4	679,6	23,2	2,0	1,1	2453,4
Jacetania	540,2	216,5	3,2	0,5	0,0	760,5
Jiloca	2468,7	424,4	32,4	20,4	0,1	2945,9
La Litera	824,1	44,8	27,6	0,7	60,1	957,3
Maestrazgo	121,5	40,2	15,4	2,4	26,2	205,7
Matarraña	45,8	1,5	239,6	25,5	376,4	688,8
Monegros	2490,3	801,7	28,8	9,4	28,7	3358,8
Ribagorza	808,9	150,1	19,8	7,1	25,5	1011,4
Ribera Alta	77,6	185,4	0,4	0,5	2,5	266,4
Ribera Baja	312,4	531,8	0,7	0,2	5,0	850,1
Sierra de Albarracín	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sobrarbe	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Somontano	1185,9	160,0	118,8	128,3	152,0	1744,9
Tarazona y Moncayo	138,6	78,8	24,4	5,6	6,7	254,1
Valdejalón	492,9	343,7	103,3	60,8	96,2	1096,8
Zaragoza	557,9	1027,8	10,2	11,6	11,7	1619,2
ARAGÓN	26035,3	9165,9	2477,1	1249,4	1931,1	40858,8

	Necesidades de abonado de nitrógeno para cultivos de regadío (toneladas)				
	Herbáceo				
	alfalfa	arroz	cebada	maiz	trigo
Alto Gállego	3,2	0,0	17,2	0,0	13,0
Andorra-Sierra de arcos	3,2	0,0	141,2	6,3	38,2
Aranda	0,3	0,0	8,6	0,6	1,4
Bajo Aragón	38,1	9,6	487,2	335,0	107,0
Bajo Cinca	162,4	16,8	720,0	1382,2	307,4
Bajo Martín	12,0	0,0	268,2	6,6	52,6
Campo de Belchite	0,2	0,0	113,6	0,0	77,6
Campo de Borja	63,2	0,0	182,0	283,8	249,0
Calatayud	8,7	0,0	341,0	137,5	100,8
Cariñena	14,6	0,0	240,6	0,0	52,6
Caspe	41,5	8,6	492,6	127,1	89,6
Cinca Medio	332,2	500,8	1392,8	1829,6	530,2
Cinco Villas	706,5	580,0	3090,2	2663,4	2410,8
Cuencas Mineras	1,0	0,0	47,8	2,5	39,6
Daroca	0,3	0,0	136,2	30,3	73,4
Gudar-Javalambre	1,5	0,0	26,4	5,0	24,8
Hoya de Huesca	254,9	10,6	1426,6	1138,5	612,4
Hoya de Teruel	10,0	0,0	356,4	294,3	284,0
Jacetania	5,1	0,0	89,8	0,0	42,0
Jiloca	11,3	0,0	539,6	234,9	60,4
La Litera	296,2	0,0	1068,0	2128,5	667,2
Maestrazgo	0,9	0,0	28,2	0,0	5,4
Matarraña	0,4	0,0	2,6	0,0	1,2
Monegros	661,0	410,0	3980,4	5785,2	758,2
Ribagorza	3,4	0,0	72,4	0,0	11,0
Ribera Alta	327,6	0,0	188,0	871,8	548,2
Ribera Baja	230,8	8,8	530,4	555,8	358,2
Sierra de Albarracín	1,4	0,0	10,0	9,1	19,4
Sobrarbe	10,4	0,0	26,4	6,9	21,0
Somontano	141,7	11,2	745,4	1412,1	189,0
Tarazona y Moncayo	1,6	0,0	313,2	145,2	114,0
Valdejalón	63,8	0,0	380,4	230,5	157,0
Zaragoza	611,8	0,0	385,2	1341,5	1029,0
ARAGON	4021,2	1556,4	17848,6	20963,5	9045,6

	Necesidades de abonado de nitrógeno para cultivos de regadío (toneladas)					
	Leñoso					
	manzano	peral	melocoton	almendro	viñedo	olivo
Alto Gállego	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Andorra-Sierra de arcos	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	7,2
Aranda	1,2	0,8	1,1	2,8	0,3	6,4
Bajo Aragón	2,5	2,2	232,2	40,7	0,6	117,9
Bajo Cinca	21,5	69,9	744,2	63,6	40,9	89,5
Bajo Martin	0,1	0,4	20,4	6,4	1,4	58,3
Campo de Belchite	1,4	7,0	0,0	31,4	21,5	120,9
Campo de Borja	0,1	0,4	0,3	58,1	234,5	108,3
Calatayud	65,1	102,2	52,4	6,5	45,9	14,3
Cariñena	24,3	23,4	43,2	8,2	391,7	20,0
Caspe	2,1	12,0	231,6	110,1	16,6	126,8
Cinca Medio	16,0	45,6	119,1	17,9	6,0	36,2
Cinco Villas	3,6	1,8	0,8	49,1	6,4	34,7
Cuencas Mineras	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,2
Daroca	6,2	10,3	132,8	8,5	3,2	12,4
Gudar-Javalambre	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0
Hoya de Huesca	7,8	2,0	1,4	28,5	4,7	49,5
Hoya de Teruel	0,3	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
Jacetania	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Jiloca	0,3	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0
La Litera	33,8	36,8	65,9	12,9	9,1	19,1
Maestrazgo	0,0	0,0	1,4	1,0	0,0	12,6
Matarraña	0,1	0,0	19,1	3,8	0,6	14,2
Monegros	9,2	5,7	22,5	20,6	1,4	21,2
Ribagorza	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3
Ribera Alta	14,6	16,1	7,7	3,0	0,5	19,6
Ribera Baja	1,2	11,3	27,6	9,8	3,1	111,8
Sierra de Albarracín	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sobrarbe	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
Somontano	1,4	5,3	0,8	9,4	121,9	20,1
Tarazona y Moncayo	0,7	2,2	0,2	21,4	11,6	39,0
Valdejalón	207,1	101,4	273,8	33,0	56,5	72,2
Zaragoza	0,1	12,0	8,9	50,4	4,3	51,7
ARAGON	423,0	468,8	2006,7	598,2	983,6	1184,4

DISTANCIA EN KILÓMETROS DE LOS MUNICIPIOS DE LA COMARCA DEL MATARRAÑA																		
Matarraña	Arenas de L	Beceite	Calaceite	Cretas	Fórnols	La Fresneda	Fuentespalda	Mazaleón	Peñarroya de	La portellada	Rafales	Torre de Arca	Torre del Con	Valdeltormo	Valderrobres	Valjunquera	lledo	monroyo
Arenas de L		31,6	12,3	14,4	44,8	35,3	36,9	25,4	46,6	35,2	54,8	64,2	31,8	22,9	24,6	31		57,7
Beceite	31,6		27,1	15,7	26,2	18,1	19,7	40	29	17,9	25,6	38,6	20	31,6	7,4	23,8	24	32
Calaceite	12,3	27,1		11,3	33	24,9	33,9	13	43	30,9	43	52,4	20	11,1	21,6	19,3	18,4	45,9
Cretas	14,4	15,7	11,3		29	21	22,5	24,4	32,2	20,8	28,5	41,4	23,8	22	10,2	26,6		34,9
Fórnols	44,8	26,2	33	29		21	35	33,2	33,1	9,4	19,6	29	24,6	22,1	19	15,3	34,7	16,2
La Fresneda	35,3	18,1	24,9	21	21		23,1	25,1	32,8	6,2	16	40,7	5,5	14,1	10,8	6,2	29,2	34,1
Fuentespalda	36,9	19,7	33,9	22,5	35	23,1		47	10,3	17,8	11,1	19,6	26	36,7	12,4	28,8	30,8	13,1
Mazaleón	25,4	40	13	24,4	33,2	25,1	47		56,7	31,2	43,2	52,7	21,1	11,3	35,3	19,5	32,2	46,1
Peñarroya de	46,6	29	43	32,2	33,1	32,8	10,3	56,7		23,4	16,7	17,7	35,6	45,7	22,1	38,8	40,4	11,1
La portellada	35,2	17,9	30,9	20,8	9,4	6,2	17,8	31,2	23,4		10	32,6	10,9	20,1	10,7	12,2	29,1	25
Rafales	54,8	25,6	43	28,5	19,6	16	11,1	43,2	16,7	10		23	22,5	32,1	18,4	25,2	36,8	16,5
Torre de Arca	64,2	38,6	52,4	41,4	29	40,7	19,6	52,7	17,7	32,6	23		44	41,6	31,3	34,7	49,7	6,9
Torre del Con	31,8	20	20	23,8	24,6	5,5	26	21,1	35,6	10,9	22,5	44		17,4	13,7	9,5	32,1	37,5
Valdeltormo	22,9	31,6	11,1	22	22,1	14,1	36,7	11,3	45,7	20,1	32,1	41,6	17,4		24,4	8,4	28,9	35,1
Valderrobres	24,6	7,4	21,6	10,2	19	10,8	12,4	35,3	22,1	10,7	18,4	31,3	13,7	24,4		16,5	18,5	24,8
Valjunquera	31	23,8	19,3	26,6	15,3	6,2	28,8	19,5	38,8	12,2	25,2	34,7	9,5	8,4	16,5		34,9	28,2
lledo		24	18,4		34,7	29,2	30,8	32,2	40,4	29,1	36,8	49,7	32,1	28,9	18,5	34,9		43,2
Monrroyo	57,7	32	45,9	34,9	16,2	34,1	13,1	46,1	11,1	25	16,5	6,9	37,5	35,1	24,8	28,2	43,2	

DISTANCIA EN KILÓMETROS DE LOS MUNICIPIOS DE LA COMARCA DEL MAESTRAZGO															
Maestrazgo	Allepuz	Bordón	Cantavieja	Cañada de B	Castellote	La Cuba	Fortanete	La Iglesuela	Mirambel	Miravete de	Molinos	Pitarque	Tronchón	Villarluengo	Villarroya de
Allepuz		39,72	49,2	43,1	105	67,5	26,7	55	59	14,2	89	49	69	54	8,5
Bordón	39,72		34,6	45	18,5	21,3	50	43	17,9	75	34	48	18,1	39,4	68,3
Cantavieja	49,2	34,6		22,8	52	23	22,7	16,1	17	47	68,2	43,3	31,7	34,6	40,9
Cañada de B	43,1	45	22,8		63,4	41	16,5	28,6	32,6	40,8		21,5	27,6	12,7	34,6
Castellote	105	18,5	52	63,4		39,3	68	61	35,9	92	15,7	60	36,1	57,4	86
La Cuba	67,5	21,3	23	41	39,3		41	34,3	10	65	54,9	48,4	18,4	40	59,2
Fortanete	26,7	50	22,7	16,5	68	41		28,7	32,6	24,6	74,3	37,1	43,2	28,4	18,3
La Iglesuela	55	43	16,1	28,6	61	34,3	28,7		26	53	77	49,3	40,6	40,5	46,8
Mirambel	59	17,9	17	32,6	35,9	10	32,6	26		57	51,5	45	15	36,3	50,7
Miravete de	14,2	75	47	40,8	92	65	24,6	53	57			61,5	67,6	52,8	6,4
Molinos	89	34	68,2		15,7	54,9	74,3	77	51,5			44	51,7	46,2	65
Pitarque	49	48	43,3	21,5	60	48,4	37,1	49,3	45	61,5	44		30,3	9,1	55,2
Tronchón	69	18,1	31,7	27,6	36,1	18,4	43,2	40,6	15	67,6	51,7	30,3		21,6	61
Villarluengo	54	39,4	34,6	12,7	57,4	40	28,4	40,5	36,3	52,8	46,2	9,1	21,6		46,5
Villarroya de	8,5	68,3	40,9	34,6	86	59,2	18,3	46,8	50,7	6,4	65	55,2	61	46,5	

DISTANCIA EN KILÓMETROS DE LOS MUNICIPIOS DE LA COMARCA DEL BAJO CINCA											
	Ballobar,	Belver de Cí	Candasnos	Chalamera	Fraga	Mequinenza	Ontiñena	Osso de Cinc	Torrente de	Velilla de Cinca	Zaidín
Ballobar,		21,3	21	6,2	18,4	35,2	13,5	24,2	22,6	7,6	31,4
Belver de Cí	21,3		37,4	15,4	25,1	44,8	15,5	3,4	31,2	27,9	13,2
Candasnos	21	37,4		27,3	24,7	40,4	22	46,6	28	32,8	40
Chalamera	6,2	15,4	27,3		23,5	40	7,9	18,3	27,9	12,6	28
Fraga	18,4	25,1	24,7	23,5		19,6	30,8	21,8	7	10,9	12,9
Mequinenza	35,2	44,8	40,4	40	19,6		47,7	41,5	13,1	27,7	32,5
Ontiñena	13,5	15,5	22	7,9	30,8	47,7		18,3	35	20,1	28,1
Osso de Cinc	24,2	3,4	46,6	18,3	21,8	41,5	18,3		28,9	32,8	9,9
Torrente de	22,6	31,2	28	27,9	7	13,1	35	28,9		15,3	20,1
Velilla de Cí	7,6	27,9	32,8	12,6	10,9	27,7	20,1	32,8	15,3		23,3
Zaidín	31,4	13,2	40	28	12,9	32,5	28,1	9,9	20,1	23,3	