



(LIFE12 ENV/ES/000426)

**regADIOX**



## **“Informe Final sobre las experiencias demostrativas realizadas en la Acción B4”**

**Entregable perteneciente a la**

**ACCIÓN B4: Experiencias demostrativas en la eficiencia del uso del nitrógeno (fertilizantes orgánicos/inorgánicos) para la reducción de las emisiones de GEI (Responsabilidad de INTIA)**

**del proyecto “LIFE+ RegaDIOX (LIFE12 ENV/ES/000426)”**

**PROGRAMA LIFE+ 12**

**Fecha: 25/Octubre/2016**

## 1. INTRODUCCIÓN

El amonio, que es la base de los fertilizantes minerales nitrogenados, se obtiene exclusivamente por el método industrial denominado Haber-Bosh. El proceso consiste en la reacción directa entre el nitrógeno y el hidrógeno gaseosos. En la práctica las industrias de síntesis de amoniaco operan a una presión de 300 atm. y a una temperatura de 400-600 °C, y se necesitan 575 kg de amoniaco para generar 1 tonelada de urea con la consecuente emisión de 1,04 toneladas de CO<sub>2</sub>. Entre los factores directos (combustible utilizado) e indirectos (fabricación de maquinaria, fertilizantes, semillas, fitosanitarios y riego) que intervienen en la producción de un cultivo, el uso y fabricación de fertilizantes minerales son los que mayormente contribuyen a las emisiones de GEI. Por lo tanto, la sustitución de los fertilizantes minerales nitrogenados por fertilizantes orgánicos contribuye a la reducción de emisiones de GEI.

Esta acción comprende dos fases. En una primera fase se ha hecho una experiencia para mostrar que el uso de fertilizantes orgánicos puede disminuir o sustituir el aporte de fertilizantes inorgánicos nitrogenados. Par ello se eligió una parcela piloto en la que se aplicaron diferentes fertilizantes orgánicos, complementados con diferentes dosis de fertilizante mineral nitrogenado. Los cultivos no aprovechan todo el nitrógeno que contiene un fertilizante orgánico, ya que parte se pierde por volatilización, otra parte está como nitrógeno orgánico no disponible, etc. Con esta parcela piloto se determinó la eficiencia en el uso del nitrógeno que tiene cada tipo de fertilizante orgánico, y que dosis de fertilizante inorgánico se puede dejar de aplicar. Esta experiencia se realizó durante dos campañas consecutivas.

En una segunda fase de la acción, tras realizar la experiencia demostrativa en la parcela piloto, se realizó una colaboración entre un gestor de residuos orgánicos, un grupo de agricultores y el INTIA. Con esta colaboración se trató de extender el uso de fertilizantes orgánicos: el gestor de residuos aportará el fertilizante orgánico, los agricultores lo aplicaron en sus parcelas y el INTIA, como órgano asesor público, recomendó las dosis de fertilizantes orgánicos y el complemento, si fue necesario, de fertilizantes inorgánicos.

Se van a presentar en apartados diferentes los resultados de las dos fases de la acción B4.

## 2. OBJETIVOS

Los objetivos específicos de esta acción son los siguientes:

- 1.- Valorar la eficiencia del nitrógeno aportado por los residuos orgánicos durante el año de aportación del abono orgánico para el cultivo del maíz en aspersión.
- 2.- Valorar la eficiencia del nitrógeno aportado por los residuos orgánicos durante el segundo tras la aportación en monocultivo de maíz en aspersión.
- 3.- Cuantificación de la reducción de emisiones de GEI debida a la sustitución de fertilizantes orgánicos por inorgánicos, es decir, reducción en las toneladas de CO<sub>2</sub> emitidas por hectárea.

### **A. FASE 1. VALORACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL NITRÓGENO DE LOS ABONOS ORGÁNICOS**

#### **A.1. METODOLOGÍA**

El ensayo de la parcela piloto se realizó en una parcela situada en el municipio de Olite, Navarra, con referencia catastral: Olite, polígono 10, parcela 551 (Fig.1). El cultivo elegido fue el maíz, al ser un cultivo con altas necesidades de nitrógeno.



Figura 1. Parcela del ensayo (Olite, polígono 10, parcela 551)

Se estudió la influencia en el rendimiento de dos factores, abono orgánico y nitrógeno de origen mineral. Cada factor tenía los siguientes niveles:

- I. Factor 1: Abono Orgánico (AO):
  1. AO 0: Sin Abono Orgánico
  2. AO 1: Purín de cerdo
  3. AO 2: Estiércol de pollo
  4. AO 3: Fracción sólida digerido de vacuno
  5. AO 4: Lodo EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales)
  6. AO5: Fracción líquida digerido de vacuno
  
- II. Factor 2: Nitrógeno mineral (N):
  1. N0: Sin Nitrógeno
  2. N1: 60 kg/ha de N mineral
  3. N2: 120 kg/ha de N mineral
  4. N3: 180 kg/ha de N mineral
  5. N4: 240 kg/ha de N mineral
  6. N5: 300 kg/ha de N mineral

A cada combinación de esos dos factores se le asignó un número, según queda reflejado en la Tabla 1. Dichos tratamientos se distribuyeron al azar en 4 bloques, cada uno de los cuales correspondía a una repetición (Fig. 2). En la primera repetición los tratamientos están organizados siguiendo un orden creciente de la dosis de nitrógeno mineral, ya que tiene un carácter demostrativo.

<b>N mineral kg/ha</b>	<b>AO 0 Sin AO</b>	<b>AO 1 Purín de porcino</b>	<b>AO 2 Estiércol de pollo</b>	<b>AO 3 Frac. Sól. Digerido</b>	<b>AO 4 Lodo EDAR</b>	<b>AO 5 Frac. Líq. Digerido</b>
0	1	7	13	19	25	31
60	2	8	14	20	26	32
120	3	9	15	21	27	33
180	4	10	16	22	28	34
240	5	11	17	23	29	35
300	6	12	18	24	30	36

Tabla 1. Asignación de números a los tratamientos

	11	10	12	9	8	7	9	11	7	12	10	8	<i>Purín de porcino</i>
	5	4	6	3	2	1	3	5	1	6	4	2	<i>Sin abono orgánico</i>
	35	34	36	33	32	31	33	35	31	36	34	32	<i>Fracc. Líq. Digerido vacuno</i>
	29	28	30	27	26	25	27	29	25	30	28	26	<i>Lodo EDAR</i>
	23	22	24	21	20	19	21	23	19	24	22	20	<i>Fracc. Sol. Digerido vacuno</i>
<b>R3</b>	17	16	18	15	14	13	15	17	13	18	16	14	<i>Estiércol de pollo</i>
	31	32	33	34	35	36	32	36	34	31	33	35	<i>Fracc. Líq. Digerido vacuno</i>
	25	26	27	28	29	30	26	30	28	5	27	29	<i>Lodo EDAR</i>
	19	20	21	22	23	24	20	24	22	19	21	23	<i>Fracc. Sol. Digerido vacuno</i>
	13	14	15	16	17	18	14	18	16	13	15	17	<i>Estiércol de pollo</i>
	7	8	9	10	11	12	8	12	10	7	9	11	<i>Purín de porcino</i>
<b>9</b>	1	2	3	4	5	6	2	6	4	1	3	5	<i>Sin abono orgánico</i>
<b>R1</b>													<b>R2</b>
	5												

Figura 2. Croquis del ensayo

De las dos campañas que se ha realizado el ensayo, el lodo EDAR y la fracción sólida del digerido vacuno se aportaron sólo durante la primera campaña, y durante la segunda campaña se evaluó su efecto residual. El resto de abonos orgánicos se aplicaron durante las dos campañas.

Como abonado de fondo se aportó únicamente en los tratamientos sin aporte orgánico a razón de 40, 100 y 130 Unidades Fertilizantes de nitrógeno fósforo y potasio

respectivamente, excepto en el tratamiento testigo en el que no se aportó el N (tratamiento 1).

En los tratamientos en los que estaba definido el abonado de cobertera, se aplicó nitrógeno inorgánico en forma de urea del 46 %, con cultivo en unas 6 hojas.

La dosis de fertilizante orgánico se intentó ajustar a la que correspondía a 250 kg de nitrógeno por hectárea, que es el máximo que se puede aplicar con fertilizantes orgánicos en Navarra según la Orden Foral 286/2009, por la que se establecen los requisitos legales de gestión y las buenas condiciones agrarias y medioambientales que deberán cumplir los agricultores que reciban ayudas directas de la Política Agraria Común. En la tabla 2 se presenta la composición en nitrógeno, fósforo y potasa de los residuos orgánicos de la segunda campaña (2015). En la tabla 3 se presenta la dosis que realmente se aplicó, y la cantidad total de nitrógeno, fósforo ( $P_2O_5$ ) y potasa ( $K_2O$ ) que corresponden a esas dosis. En esta campaña 2015 no se aplicó ni la fracción sólida del digerido vacuno ni el lodo EDAR.

Tipo abono orgánico	Composición (kg/T fresca)		
	N	$P_2O_5$	$K_2O$
Purín de porcino	3,4	3,2	1,7
Estiércol de pollo	32,8	17,5	29,5
Fracción líquida de digerido vacuno	3,88	2,22	0,8

Tabla 2. Composición de los diferentes abonos orgánicos (Campaña 2015).

Tipo abono orgánico	Dosis abono orgánico (T fresca/ha)	Cantidad total aportada (kg/ha)		
		N	$P_2O_5$	$K_2O$
Purín de porcino	57	195	185	95
Estiércol de pollo	13	426	227	383
Fracción líquida de digerido vacuno	46	178	102	36

Tabla 3. Dosis de abono orgánico aplicado y cantidad total de nitrógeno, fósforo ( $P_2O_5$ ) y potasa ( $K_2O$ ) aportados.

Como puede observarse en la tabla 3 hubo una desviación en la cantidad total de nitrógeno aportada con respecto a las 250 UFN que se querían aportar. El purín resultó tener una concentración de nitrógeno inferior a la estimada, y se debió a que el ganadero lavó con agua la granja, esa agua fue a parar a la balsa de almacenamiento de purín, y se produjo una dilución de la concentración de nitrógeno. La fracción líquida

del digerido vacuno también se aplicó en menor cantidad a la inicialmente prevista. En el caso del estiércol de pollo sucedió lo contrario. El estiércol era del final del montón donde la concentración aumentó. Estas desviaciones respecto a la dosis prevista pueden influir en el cálculo de la eficiencia de dichos residuos orgánicos.

Se analizó el contenido de nitrógeno mineral (nitrato y amonio) en el perfil de 0 a 30 cm del suelo, antes de la aplicación de los abonos orgánicos, dando un valor medio entre los tratamiento de 22 kg de nitrógeno mineral por hectárea. Posteriormente, antes de la aplicación del abonado de cobertera, en junio, se volvió a analizar el nitrógeno mineral en el perfil de 0 a 30 cm en las parcelas testigos sin fertilizante mineral nitrogenado (Tabla 4).

<b>Tipo abono orgánico</b>	<b>Nitrógeno mineral (kg/ha)</b>
Testigo sin abonar	24
Purín de porcino	55
Estiércol de pollo	42
Fracción líquida de digerido vacuno	74
Fracción sólida de digerido vacuno	29
Lodo EDAR	23

Tabla 4. Nitrógeno mineral (nitrato + amonio) en el suelo, del perfil 0-30 cm.

Se observa que en los dos tratamientos en los que en la segunda campaña no se aplicó abono orgánico (fracción sólida de digerido vacuno y lodo EDAR) los valores de Nmin son similares al testigo sin abonar. En el resto de tratamientos el valor de Nmin es más alto, pero no tan altos como en la primera campaña del estudio. Se puede deber a que entre el 9 y el 13 de junio de 2015 se acumuló una precipitación de 115 mm que pudo haber lavado parte del nitrato presente en el suelo. El muestreo de suelo se realizó el 17 de junio, posterior a las lluvias.



## A.2. RESULTADOS

Se evaluó el rendimiento del maíz tras la aplicación de los diferentes abonos orgánicos con el fin de calcular la cantidad de nitrógeno mineral que puede ser sustituida con la aplicación de abonos orgánicos (coeficiente de equivalencia del nitrógeno). Para ello se ajustó la relación entre el rendimiento del maíz y las unidades fertilizantes de nitrógeno a una ecuación de segundo grado (Fig.3). Se observa una buena relación entre ambos parámetros ( $R^2 = 0,9891$ ).

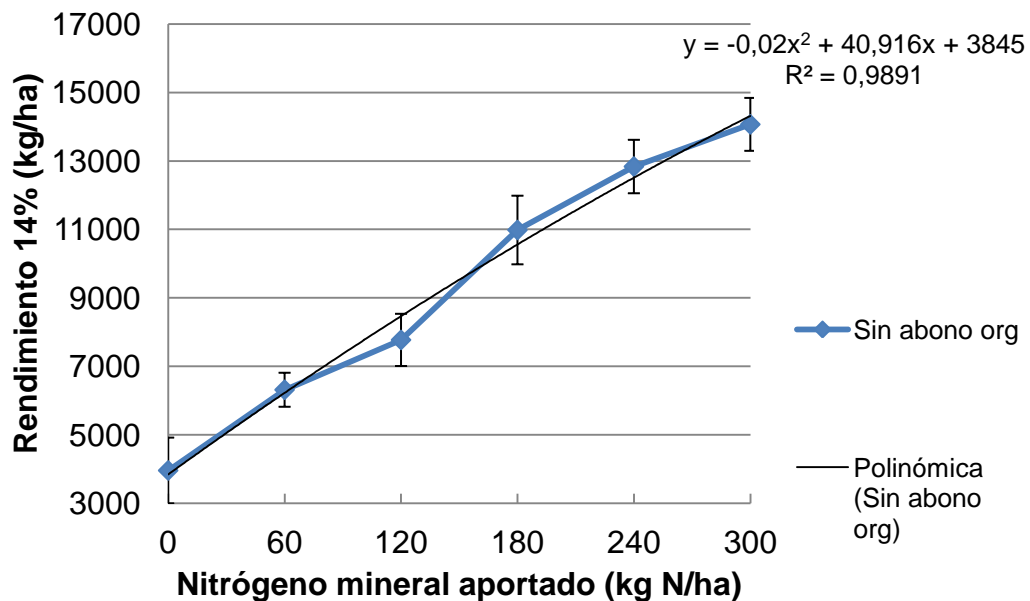


Figura 3. Relación entre el rendimiento del maíz a 14<sup>o</sup> (kg/ha) y las unidades fertilizantes de nitrógeno aportadas con nitrógeno mineral en forma de urea 46% (kg N/ha).

También se obtuvo la relación entre el rendimiento del maíz y el aporte de los diferentes abonos orgánicos con dosis crecientes de nitrógeno mineral (Fig.4 a Fig.8).



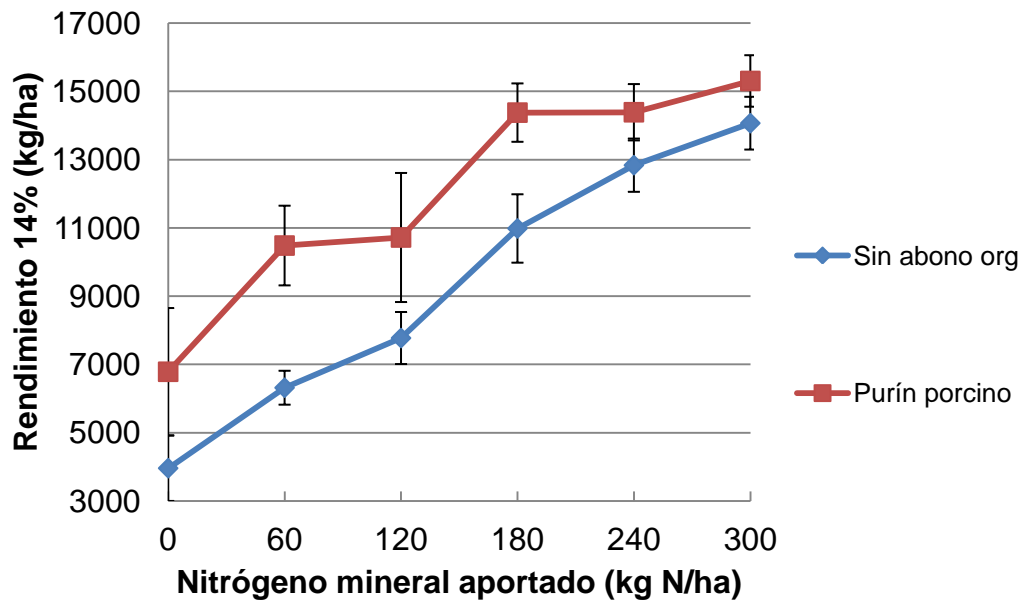


Figura 4. Comparación del efecto en el rendimiento del maíz a 14° (kg /ha) entre la aplicación de purín de porcino con dosis crecientes de nitrógeno mineral (kg N/ha), con la aplicación exclusiva de dosis crecientes de nitrógeno mineral en forma de urea 46%.

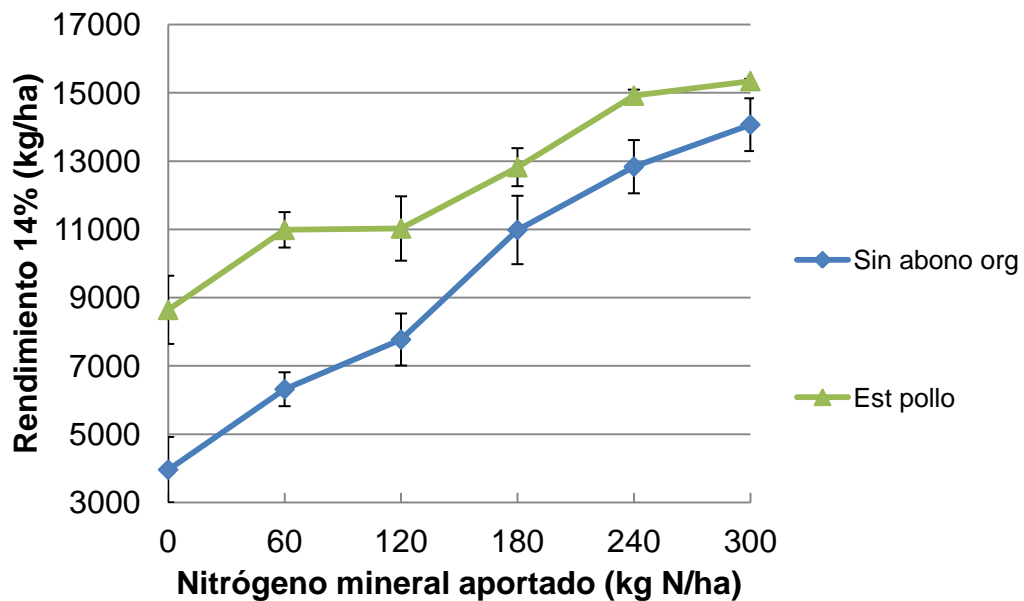


Figura 5. Comparación del efecto en el rendimiento del maíz a 14° (kg /ha) entre la aplicación de estiércol de pollo con dosis crecientes de nitrógeno mineral (kg N/ha), con la aplicación exclusiva de dosis crecientes de nitrógeno mineral en forma de urea 46%.

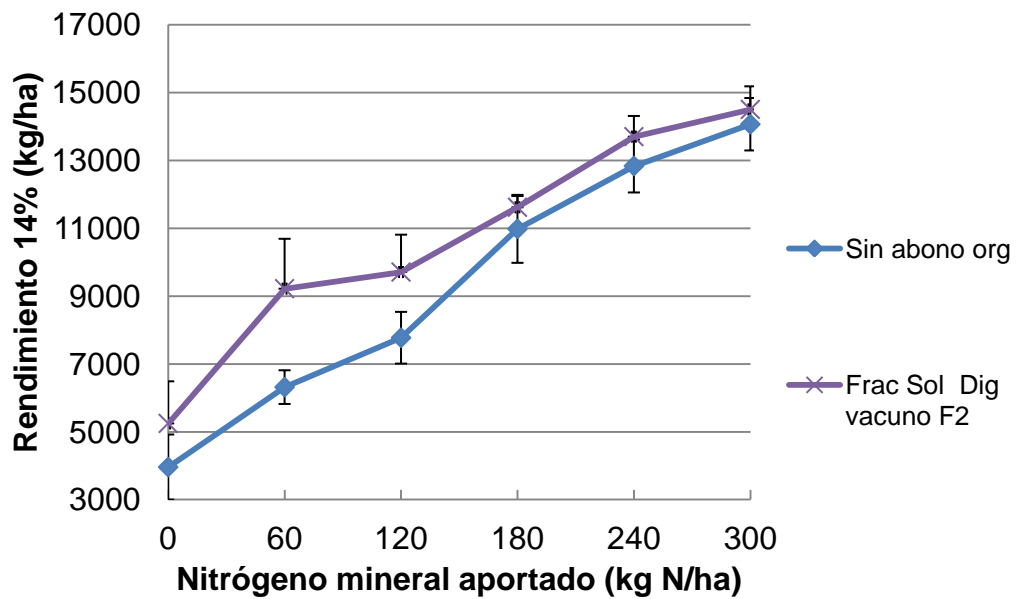


Figura 6. Comparación del efecto en el rendimiento del maíz a 14<sup>o</sup> (kg /ha) entre la aplicación en la campaña anterior de la fracción sólida de digerido de vacuno con dosis crecientes de nitrógeno mineral (kg N/ha), con la aplicación exclusiva de dosis crecientes de nitrógeno mineral en forma de urea 46%.

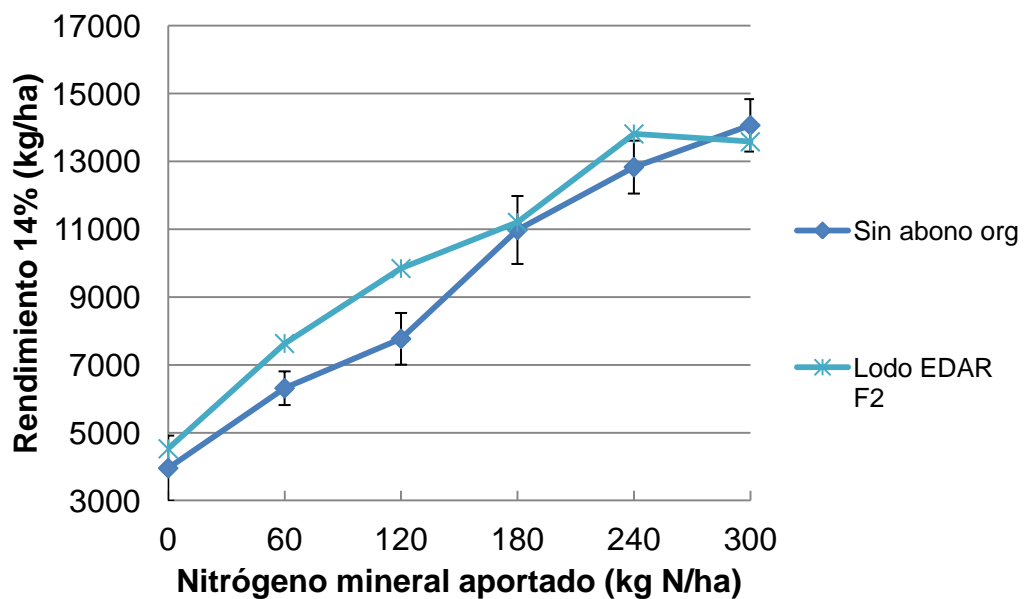


Figura 7. Comparación del efecto en el rendimiento del maíz a 14<sup>o</sup> (kg/ha) entre la aplicación en la campaña anterior de lodo EDAR con dosis crecientes de nitrógeno mineral (kg N/ha), con la aplicación exclusiva de dosis crecientes de nitrógeno mineral en forma de urea 46%.

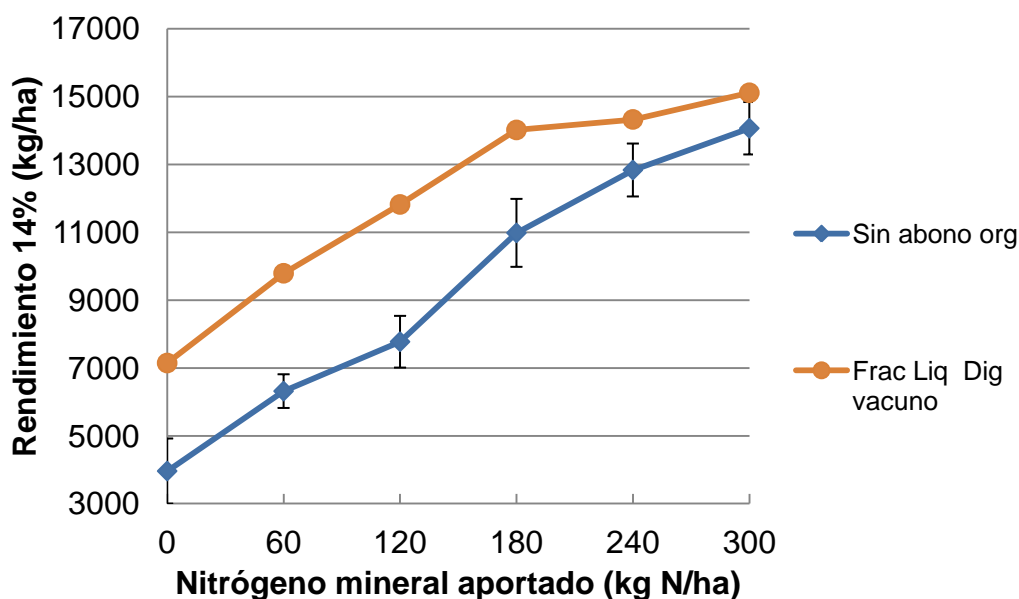


Figura 8. Comparación del efecto en el rendimiento del maíz a 14<sup>o</sup> (kg /ha) entre la aplicación de fracción líquida de digerido de vacuno con dosis crecientes de nitrógeno mineral (kg N/ha), con la aplicación exclusiva de dosis crecientes de nitrógeno mineral en forma de urea 46%.

Se observa que con todos los tratamientos el máximo rendimiento se obtiene con una dosis de nitrógeno mineral de entre 240 y 300 kg/ha. Las UFN aplicadas por encima de esa dosis no son aprovechadas por el maíz y son sensibles de perderse por lixiviación, volatilización, etc.

Posteriormente se calculó para cada abono orgánico, las unidades fertilizantes de N aplicadas con urea a las que equivale el N total aplicado con cada abono orgánico. A este valor le denominaremos coeficiente de equivalencia del N del abono orgánico. Para ello, se tomó el dato de rendimiento de maíz a 14<sup>o</sup> obtenido con cada abono orgánico, sin la aportación de nitrógeno mineral, y se introdujo en la ecuación de segundo grado que relaciona el rendimiento y la dosis de nitrógeno mineral aportado. El valor obtenido de esta manera se compara con las unidades fertilizantes de nitrógeno realmente aportadas con el residuo orgánico (tabla 3), y así se obtiene el coeficiente de equivalencia del nitrógeno. Como ejemplo, el digerido líquido de vacuno dió lugar a un rendimiento 7144 kg/ha de maíz. El introducir ese valor en la ecuación de la figura 3 obtenemos que para obtener ese rendimiento hacen falta 84 UFN aportadas con nitrógeno mineral. Con la dosis de digerido líquido de vacuno realmente aplicada se aportaron 178 UFN, por lo que el coeficiente de equivalencia expresado en porcentaje es

47 % ( $84 \cdot 100 / 178$ ). Esto significa que con la aplicación de esa cantidad de nitrógeno con el digerido líquido de vacuno podemos dejar de aplicar el 48 % de fertilizante nitrogenado mineral, para conseguir el mismo rendimiento. En la tabla 5 se presentan los coeficientes de equivalencia del N de los diferentes abonos orgánicos.

<b>Tipo abono orgánico</b>	<b>Coefficiente de equivalencia del N (%)</b>
Purín de porcino	38
Estiércol de pollo	29
Fracción sólida de digerido vacuno F2	15
Fracción líquida de digerido vacuno	47
Lodo EDAR F2	7

Tabla 5. Coeficientes de equivalencia del N total de los abonos orgánicos respecto a la urea 46% (datos del ensayo de 2015).

El purín de porcino presenta un valor de coeficiente de equivalencia algo inferior al obtenido en ensayos anteriores y al que se puede encontrar en bibliografía, que suele oscilar entre el 50 y el 60 %, pero es similar al dato de la campaña anterior. El caso contrario lo representa el estiércol de pollo, para el que se obtiene un coeficiente de equivalencia de 29 %, cuando en ensayos anteriores y bibliografía habíamos obtenido un 50-60 %. En este caso se aplicaron muchas más UFN de las deseadas (tabla 3), y esto se debe a que con la maquinaria actualmente disponible es difícil aplicar una dosis menor de estiércol de pollo. Aunque el rendimiento obtenido para el testigo con estiércol de pollo y sin abono mineral (tratamiento 13) ha obtenido el mayor rendimiento de todos los testigos del ensayo, como la dosis de nitrógeno aplicada ha sido muy alta, se subestima su coeficiente de equivalencia.

El resto de coeficientes de equivalencia son similares a los obtenidos en ensayos anteriores y a los que se pueden obtener en bibliografía.

La tabla 6 presenta los valores de coeficiente de equivalencia que se obtienen de la combinación de los resultados de las dos campañas (2014 y 2015) que se ha realizado el ensayo.

Tipo abono orgánico	Coeficiente de equivalencia del N (%)	
	El año tras el aporte	A los dos años tras el aporte
Purín de porcino	41	
Estiércol de pollo	29	
Fracción sólida de digerido vacuno	33	15
Fracción líquida de digerido vacuno	39	
Lodo EDAR	26	7

Tabla 6. Coeficientes de equivalencia del N total de los abonos orgánicos respecto a la urea 46%.

### A.3. CONCLUSIONES

Las necesidades en fósforo y potasa de un cultivo de maíz se estiman en unos 90-100 kg  $P_2O_5$ /ha y de 130-150 kg  $K_2O$  /ha, para un rendimiento de 10-12 t/ha de maíz al 14%. El ensayo muestra que, ajustando las dosis de los abonos orgánicos para aplicar 250 UFN, se cubren las necesidades de fósforo con la aplicación de cualquiera de los abonos orgánicos ensayados (tablas 2 y 3). Lo mismo ocurre para el potasio, excepto con el lodo EDAR y la fracción líquida de digerido de vacuno. Los suelos de Navarra, en general, presentan niveles altos de potasa y no es necesario aplicarla. De todas maneras, sería recomendable hacer un análisis de suelo para comprobar que el suelo no es deficitario en potasa, antes de decidirse a aplicar uno de estos dos abonos orgánicos. Y si no se dispone de análisis de suelo, se recomienda aplicar potasa en forma mineral para no limitar el rendimiento.

El ensayo corrobora que hay que tener en cuenta el nitrógeno que aportan los abonos orgánicos para descontarlo de la aplicación de nitrógeno mineral en cobertera. Los valores de coeficientes de equivalencia obtenidos sirven para hacer un plan de abonado que se ajuste a las necesidades del cultivo, minimizando las posibles pérdidas por volatilización y lixiviación.

La estrategia a seguir en un plan de abonado en maíz, sería aplicar en fondo la dosis de abono orgánico que corresponda a 250 UFN. Con ese aporte en fondo se cubrirían, en la mayoría de los casos, las necesidades en fósforo y potasa del cultivo. En los casos en los que no queden cubiertas esas necesidades, se complementarían con fertilizantes minerales. Como ya se ha comentado, el suelo puede aportar esas necesidades no cubiertas por el abono orgánico, por lo que un análisis de suelo nos serviría de ayuda para tomar una decisión. Teniendo en cuenta el coeficiente de

equivalencia de cada abono orgánico (Tabla 6), se calcularía las UFN que haría falta aplicar en cobertera con nitrógeno mineral hasta completar las necesidades en nitrógeno del maíz, que se estiman en unas 300 UFN, para un rendimiento de 12 a 14 T/ha de maíz al 14º de humedad.

A priori, la reducción de las emisiones GEI debidas a la aplicación de abonos orgánicos corresponden a la cantidad de nitrógeno inorgánico que dejamos de aplicar, que con los fertilizantes orgánicos estudiados varía entre un 26 y un 46% (coeficientes de equivalencia, Tabla 6) respecto a las emisiones producidas por la aplicación de urea 46%. Como se verá en el próximo apartado, donde se estudia en más detalle este aspecto, la reducción de las emisiones GEI no corresponde con la cantidad de nitrógeno inorgánico que dejamos de aplicar.

## **B. FASE 2. PLANES DE ABONADO Y REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES GEI DEBIDO A LA SUSTITUCIÓN DE FERTILIZANTES INORGÁNICOS POR ORGÁNICOS.**

### **B.1. METODOLOGÍA Y RESULTADOS**

Esta segunda fase de la acción se desarrollo con un gestor de purines de cerdo de Murillo el Fruto (Navarra). Este gestor se encargaba de gestionar el purín de cerdo de tres explotaciones ganaderas y lo aplicó en parcelas de acuerdo a un plan de abonado. Los cultivos a los que se aplicó fueron maíz, arroz, tomate y pimiento. Para poder comparar entre unas parcelas y otras, sólo se han calculado las emisiones y se han elaborado planes de abonado, en las parcelas en las que se cultivó maíz. El conjunto de parcelas para las que se hizo el plan de abonado tenía una superficie de 87,9 ha, divididas en 10 parcelas diferentes.

El estudio consistió en registrar una serie de parámetros que permitieron hacer un plan de abonado: superficie de la parcela, número de cubas que se aplicaron en cada parcela, volumen de la cuba y el contenido en nitrógeno del purín de cerdo (se hicieron análisis de las diferentes granjas, y en diferentes momentos). Para elaborar el plan de abonado nitrogenado se consideró que el coeficiente de equivalencia del purín de cerdo fue del 50%, y que las necesidades totales de nitrógeno del maíz para un rendimiento de 12-14 t/ha es de 300 kg N/ha. El purín de cerdo se aplicó en fondo (antes de la siembra

del maíz) tratando de aplicar una dosis cercana a los 250 kg N/ha, que es el máximo que se puede aportar con abonos orgánicos en Navarra según la según la Orden Foral 286/2009. Este abonado de fondo se complementó en cobertera con urea 46% hasta completar las necesidades del cultivo. En la tabla 7 pueden verse los kg de nitrógeno aplicados con el purín de cerdo, los kg de nitrógeno equivalentes, y los kg de urea que hubo que aplicar para cubrir las necesidades del maíz.

Parcela	Superficie (ha)	Volumen de purin (m <sup>3</sup> /ha)	Contenido N del purín (kg N/m <sup>3</sup> )	N aplicado con el purín (kg N/ha)	N eficiente (kg N/ha)	Necesidades de urea en cobertera (kg/ha)
1	9,9	35,35	6,7	237	118	395
2	8,55	38,01	5,2	198	99	437
3	8,5	35,29	6,7	236	118	395
4	7,12	38,62	6	232	116	400
5	6,2	44,35	5,4	240	120	392
6	6,1	45,08	5,4	243	122	388
7	9	58,33	4,1	239	120	392
8	11,68	57,79	4,1	237	118	395
9	10,7	58,41	4,1	239	120	392
10	10,16	31,99	5,2	166	83	471

Tabla 7. Planes de abonado nitrogenado para las diferentes parcelas de maíz.

Posteriormente se calcularon las emisiones asociadas a cada parcela. Se utilizó la herramienta Eurenens, empleada en las acciones B1, B2 y B3. Se asumió el mismo laboreo en todas las parcelas, el mismo rendimiento, y lo que las diferenciaba era la cantidad de purín de cerdo aplicado, la cantidad de urea aplicada y la distancia de la granja a la parcela. Se hizo una simulación de cálculo de emisiones para cada parcela suponiendo que todo el abonado se hizo en base a fertilizantes inorgánicos (en vez de purín de cerdo, en fondo se aplicó el abono inorgánico 9-23-30 a 550 kg/ha y en cobertera se aplicó urea 46% a 550 kg/ha). Con ello se pretendía comparar las diferencias en las emisiones generadas entre ambos sistemas de abonado. En la tabla 8 se presentan los datos medios de las 10 parcelas de estudio con la aplicación de purín de cerdo, y con la simulación sin la aplicación de purín de cerdo y aplicando todas las necesidades de nitrógeno del maíz en forma de urea.



EMISIONES (kg CO <sub>2</sub> equi/ha)	Con purín	Sin purín
Directas de N <sub>2</sub> O (inorgánico)	874	1398
Directas de N <sub>2</sub> O (orgánico)	1062	-
Directas residuos agrícolas	411	411
Indirectas (inorgánico+orgánico)	828	547
Aplicación urea al suelo (CO <sub>2</sub> )	298	403
Fabricación-transporte urea	678	920
Fabricación-transporte otras mmpp	46	471
Laboreo	297	253
Residuos	1	1
<b>Total</b>	<b>4497</b>	<b>4405</b>

Tabla 8. Emisiones medias de CO<sub>2</sub> equivalente por hectárea en el cultivo del maíz, con la aplicación de purín de cerdo, y con una simulación en la que todo el nitrógeno se aplica en forma de urea.

Se observa que las emisiones totales de CO<sub>2</sub> equivalente asociadas al manejo del cultivo de maíz con aplicación de purín de cerdo son ligeramente superiores a las emisiones asociadas a un manejo con abono inorgánico (urea) exclusivamente. Este resultado es contrario a la hipótesis inicial de que el empleo de abonos orgánicos reduce las emisiones GEI comparado al uso de abonos nitrogenados inorgánicos. Analizando cada componente de las emisiones vemos por qué se produce este resultado. El cálculo de las emisiones GEI tiene en cuenta todo el nitrógeno aplicado, sea en forma orgánica o inorgánica. Así en las parcelas objeto de estudio se aplicó una media de 227 kg N/ha en forma de purín (Tabla 7). Para el cálculo de las necesidades del cultivo se aplicó un coeficiente de eficiencia del 50% (114 kg N eficiente/ha), por lo que para completar las necesidades en nitrógeno del maíz (300 kg N/ha) se aplicaron 186 kg N/ha en forma de urea. Pero para el cálculo de las emisiones GEI no se aplica el coeficiente de equivalencia del nitrógeno, si no que se contabilizan todos los kg de nitrógeno aplicados, es decir, 413 kg N/ha en el caso de aporte de purín más urea (227+186), contra 300 kg N/ha aplicados en la simulación en la que sólo se aplicó urea. Si tenemos en cuenta que las emisiones totales (directas+indirectas) de 1 kg de nitrógeno orgánico son 6,67 kg CO<sub>2</sub> equivalente, las emisiones totales de 1 kg de nitrógeno inorgánico son de 6,20 kg CO<sub>2</sub> equivalente, y que las emisiones específicas (aplicación a suelo, fabricación y transporte) de 1 kg de nitrógeno en forma de urea son 2,40 kg CO<sub>2</sub> equivalente obtenemos que, para los dos sistemas de abonado, las emisiones medias son:

- Abonado con purín:
  - Emisiones de N orgánico:  $227 \times 6,67 = 1514,09$  kg CO<sub>2</sub> eq
  - Emisiones de N inorgánico:  $186 \times 6,20 = 1153,2$  kg CO<sub>2</sub> eq
  - Emisiones de urea:  $404,35 \times 2,40 = 970,44$  kg CO<sub>2</sub> eq
  - Emisiones totales: 3637,73 kg CO<sub>2</sub> eq
- Abonado sin purín:
  - Emisiones de N inorgánico:  $300 \times 6,20 = 1860$  kg CO<sub>2</sub> eq
  - Emisiones de urea:  $545 \times 2,40 = 1308$  kg CO<sub>2</sub> eq
  - Emisiones de 9-23-30:  $550 \times 0,841 = 462,55$  kg CO<sub>2</sub> eq
  - Emisiones totales: 3630,55 kg CO<sub>2</sub> eq

Se observa que, aunque el abonado con nitrógeno inorgánico en forma de urea tiene asociadas unas mayores emisiones de GEI por cada kilogramo de nitrógeno aplicado que si el nitrógeno es de origen orgánico, como con el sistema de abonado con purín se aplica más nitrógeno total (orgánico+inorgánico), las emisiones GEI son mayores.

Se calculó el consumo de gasoil asociado a los laboreos y a la aplicación de abonos (desplazamiento y aplicación en parcela), en las parcelas en las que se aplicó purín de cerdo y urea, y también en la simulación en la que se consideró que todo el nitrógeno se aplicó en forma de urea. Dichos cálculos aparecen reflejados (Tabla 9). El mayor consumo de gasoil en las parcelas en las que se aplicó purín de cerdo no es un concepto que repercuta de manera importante en las emisiones totales de GEI, ya que sólo supone un 1 % de las emisiones totales. El consumo de gasoil está englobado en el concepto “laboreo” y se puede observar que la diferencia entre la media de las parcelas en las que se aplicó purín y la simulación en la que se aplicó sólo urea son 44 kg CO<sub>2</sub> equivalente/ha (Tabla 8). En el presente estudio se tuvo en cuenta el gasoil consumido en el desplazamiento desde la granja hasta la parcela, para el caso del purín, y desde la cooperativa donde se cogía la urea hasta la parcela. Si en el caso de la urea se tuviese en cuenta el desplazamiento desde el punto de fabricación hasta la cooperativa, las emisiones GEI debidas al consumo de gasoil sí que podrían aumentar mucho. Dependerían de la distancia en km entre ambos puntos, del tipo de vehículos, del número de viajes, etc. Si se tuviesen en cuenta esos desplazamientos, la diferencia en

emisiones entre un manejo del abonado con fertilizantes orgánicos o con urea sería mayor.

Parcela	Superficie (ha)	Consumos purín (Litros gasoil. ha)	Distancia granja a parcela (km)	Consumo abono mineral (Litros gasoil. ha)	Diferencia consumo (Litros gasoil.ha)
1	9,9	91,44	0,45	88,20	<b>3,24</b>
2	8,55	106,21	6,7	92,41	<b>13,81</b>
3	8,5	117,91	13	97,24	<b>20,67</b>
4	7,12	130,32	19	96,16	<b>34,16</b>
5	6,2	116,36	10	96,13	<b>20,23</b>
6	6,1	105,76	5,6	91,70	<b>14,06</b>
7	9	112,75	6,2	95,83	<b>16,93</b>
8	11,68	106,43	4,2	94,12	<b>12,30</b>
9	10,7	108,50	5	93,81	<b>14,70</b>
10	10,16	103,04	5,8	91,69	<b>11,35</b>

Tabla 9. Consumo de litros de gasoil por hectárea (labores+reparto abono) en el cultivo del maíz, con la aplicación de purín de cerdo, y con una simulación en la que todo el nitrógeno se aplica en forma de urea.

Finalmente se realizó el cálculo del gasto económico asociado a la aplicación de purín en cada parcela y el asociado a la simulación en la que todo el nitrógeno se aplicó en forma de urea. Se tiene en cuenta el tiempo y distancia del desplazamiento de la granja o la cooperativa a la parcela, y el tiempo de aplicación en la parcela. Para ello se consideró la situación más habitual que es que el agricultor no dispone de cuba para aplicar purín, pero sí abonadora para aplicar urea. En el caso del purín, se subcontractaba la aplicación, aplicandose un precio de 50 €/hora al tiempo de desplazamiento y de aplicación (en ese coste va incluido el gasoil). En la simulación en la que sólo se aplicaba urea, sólo se tiene en cuenta el coste del gasoil del desplazamiento y de la aplicación, y no la mano de obra del agricultor. También se consideró que en el purín sustituía a un abonado de fondo con 9-23-30, por lo que este abono se contabilizó en la simulación. El purín no tenía coste alguno mientras que el precio de la urea era de 255 euros por tonelada, el del 9-23-30 era 353 euros por tonelada, y el precio del gasoil agrícola de 0,68 euros el litro.

En la tabla 10 se observan los gastos asociados a la urea y su reparto en las parcelas en las que se aplicó purín. Cuanto más lejos está la parcela, mayor es el coste del reparto. En la tabla 11 aparecen los gastos asociados a la urea, el 9-23-30 y el gasoil consumido en el desplazamiento y en la aplicación de los abonos, y también se

observa que cuanto más lejos está la parcela, el gasto en gasoil es mayor. Para una misma parcela, la diferencia de coste entre aplicar sólo abono mineral y aplicar purín de cerdo (Tabla 12) muestra claramente que si sólo se aplica abono mineral el coste es mayor. Cuanto más lejana está la parcela, menor es la diferencia entre aplicar sólo abono mineral y aplicar purín. Con los datos de esta demostración se obtiene que la distancia a partir de la cual la aplicación de purín de cerdo es más costosa que la aplicación de sólo abono mineral es de 38 km. En general, cuanto más cercana está la parcela de la granja, más rentable es la aplicación de purín. Para otras situaciones en las que se cobre el purín de cerdo, o se apliquen otros abonos orgánicos que sí que tengan un coste, la distancia desde la parcela al punto de acopio será el parámetro que condicione la rentabilidad del uso de un abono orgánico.

Parcela	Distancia granja a parcela (km)	Urea (€/ha)	Reparto (€/ha)	Total (€/ha)
1	0,45	100,65	19,21	119,86
2	6,7	111,52	57,42	168,93
3	13	100,76	90,08	190,84
4	19	102,07	134,08	236,15
5	10	99,92	87,63	187,55
6	5,6	98,83	57,06	155,89
7	6,2	100,01	74,53	174,55
8	4,2	100,63	55,50	156,13
9	5	99,93	63,40	163,32
10	5,8	120,20	46,35	166,55

Tabla 10. Gasto económico de la urea y de su reparto (desplazamiento+aplicación) en el cultivo del maíz, con la aplicación de purín de cerdo.

Parcela	Distancia cooperativa a parcela(km)	Urea (€/ha)	9-23-30 (€/ha)	Gasoil (€/ha)	Total (€/ha)
1	3,20	140,25	194,15	2,54	336,94
2	4,30	140,25	194,15	3,51	337,91
3	9,30	140,25	194,15	6,73	341,13
4	9,20	140,25	194,15	6,05	340,45
5	8,00	140,25	194,15	6,04	340,44
6	3,30	140,25	194,15	2,98	337,38
7	8,20	140,25	194,15	5,73	340,13
8	6,70	140,25	194,15	4,68	339,08
9	7,30	140,25	194,15	4,49	338,89
10	4,20	140,25	194,15	3,03	337,43

Tabla 11. Gasto económico de la urea, del 9-23-30 y del gasoil de su reparto (desplazamiento+aplicación) en el cultivo del maíz, en las simulación sin aplicación de purín de cerdo.

Parcela	Distancia granja a parcela (km)	Mineral - Purín (€/ha)
1	0,45	217,07
2	6,7	168,98
3	13	150,29
4	19	104,30
5	10	152,89
6	5,6	181,50
7	6,2	165,59
8	4,2	182,95
9	5	175,57
10	5,8	170,87

Tabla 12. Diferencia de gasto económico entre de la aplicación de abono de la simulación sin aplicación de purín, y la fertilización con aplicación de purín.

## B.2. CONCLUSIONES

La sustitución de abonos inorgánicos por orgánicos en un plan de abonado es factible para el correcto desarrollo del cultivo. Los abonos orgánicos pueden sustituir al abonado de fondo, ya que aportan fósforo y potasa, y a parte del abonado nitrogenado de cobertera. Los abonos orgánicos también aportan micronutrientes y materia orgánica, contribuyendo a la fijación de carbono en el suelo.

Contrariamente a la hipótesis inicial, el uso de abonos orgánicos no reduce las emisiones GEI respecto al uso de abonos inorgánicos. Ambos sistemas de abonado dan lugar a emisiones GEI similares (un 2% más para el uso de abono orgánico). Esto se

debe a que a la hora de contabilizar las emisiones asociadas al uso de abonos tanto orgánicos como inorgánicos, lo que se tiene en cuenta es la cantidad total de nitrógeno aportado, no el que es realmente eficiente para el cultivo. Y como con los abonos orgánicos se aplica una mayor cantidad de nitrógeno total, las emisiones son mayores. Siendo tan similares las emisiones GEI con ambos sistemas de abonado, la utilización de abonos orgánicos conlleva unos beneficios que no tiene la aplicación de abonos inorgánicos: aportan materia orgánica al suelo, por lo que contribuyen a la fijación de carbono; reutilizan un subproducto (ganadero, industrial, lodo) que si no sería considerado un residuo.

En el estudio se ha utilizado como abono nitrogenado inorgánico la urea, que tiene asociadas unas emisiones por aplicación al suelo y por volatilización que no tienen otros abonos nitrogenados inorgánicos. La utilización de nitrato amónico u otros abonos inorgánicos nitrogenados reduciría las emisiones GEI, aunque aumentaría el coste económico.

Cuando se utilicen abonos orgánicos con un coeficiente de equivalencia de nitrógeno bajo, las emisiones GEI serán mayores, ya que el nitrógeno total aplicado será mayor. Por ello, desde el punto de vista de las emisiones, interesa emplear abonos orgánicos con un alto coeficiente de equivalencia del nitrógeno.

El mayor consumo en gasoil que lleva asociada la aplicación de abonos orgánicos, ya que se aplican a mayor volumen y se suelen tener que transportar distancias más largas, no tiene una gran influencia en las emisiones GEI totales (alrededor el 1%). En cambio, la distancia del punto de acopio a la parcela sí que tiene una influencia clara en el coste económico. En el presente estudio se ha obtenido que a partir de 38 km de distancia al punto de acopio, es más económico aplicar abonos minerales. Cuanto mayor sea la distancia, mayor será el costo de la aplicación de abonos orgánicos. En el caso de este estudio el purín de cerdo era gratuito, pero si el abono orgánico tiene un coste, la distancia del punto de acopio a la parcela será el parámetro que marque la rentabilidad. Cuanto más caro sea el abono orgánico, menor será la distancia que se pueda transportar para que el coste del abonado con abonos orgánicos no supere al costo del abonado con abonos inorgánicos.

El transporte de urea desde el punto de fabricación al punto de acopio es un parámetro que, aunque no se ha tenido en cuenta en el presente estudio, puede

---

incrementar la emisión de GEI significativamente si la distancia entre ambos puntos es grande.