

INFORMACIONES TECNICAS

Dirección General de Desarrollo Rural

Núm.195 ■ Año 2008

Centro de Transferencia Agroalimentaria



Métodos rápidos de análisis como herramienta de gestión en la fertilización con purín porcino: conductimetría



UNIÓN EUROPEA
Fondo Europeo Agrícola
de Desarrollo Rural. FEADER



GOBIERNO
DE ARAGON

Departamento de Agricultura
y Alimentación

I. Introducción

El sector porcino ha experimentando en los últimos años un gran desarrollo en la Comunidad Autónoma de Aragón representando en el año 2000, según datos del Instituto Aragonés de Estadística (2000), un 35% del producto final agrario (PFA). El censo de plazas de porcino en Aragón es de alrededor de 4,8 millones, siendo un 89% de estas plazas de cebadero. Teniendo en cuenta el censo porcino de 2005, y las referencias oficiales españolas de producción anual de nitrógeno (N) por plaza de ganado, el purín porcino de Aragón, contendría alrededor de 40.346 t (Orús, 2007). Esta cantidad representa alrededor del 42% del N total procedente de todos los estiércoles producidos en Aragón. *De utilizar las referencias europeas: 9 kg de N plaza año de cebo (frente a los 7,25 de España), la cifra anterior de N en el purín de Aragón, pasaría a unas 47.000 t/año.*

La problemática que genera el estiércol líquido porcino, denominado comúnmente "purín", se deriva de que el objetivo del ganadero ha sido generalmente utilizar el suelo como una forma de desprenderse de su "residuo", aplicando frecuentemente dosis excesivas, limitando su efectividad como abono por el exceso de nutrientes aplicado y produciendo un impacto sobre el medio, lo que ha originado un rechazo social importante. **El valor fertilizante del purín, derivado de su contenido en nutrientes (N, P, K) y materia orgánica, no ha sido valorado adecuadamente, o ha sido una consideración generalmente secundaria.** Los principales problemas derivados del uso agrícola del purín en dosis excesivas son agronómicos (pérdidas de rendimiento, encamado, patologías,...) y medio ambientales (contaminación del agua, atmósfera y suelo), y además la aplicación de dosis excesivas implica pérdida del valor fertilizante del purín ya que disminuye la eficiencia en el uso de nutrientes que contiene.

Es importante destacar que la aplicación del purín al suelo es el método más económico y constituye uno de los mejores ejemplos de reciclaje de nutrientes en el sistema suelo - cadena alimenticia. Este reciclaje de las deyecciones animales en la agricultura ha sido una práctica permanente y ancestral de mantener y mejorar la fertilidad y la calidad del suelo.

El Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA) y el Centro de Transferencia Agroalimentaria (CTA), ambos pertenecientes al Gobierno de Aragón, llevan colaborando durante años en la optimización del uso del purín como fertilizante agrícola a través de diferentes proyectos de investigación y demostración. Se han realizado ensayos en cereales de invierno en diferentes zonas de la Comunidad de Aragón, para valorar agrónomicamente el purín en cuanto a contenido en nutrientes y establecer dosis adecuadas en diferentes cultivos. Se han estudiado además estrategias de aplicación en relación a métodos de aplicación y momentos, siempre con el objetivo de conocer y mejorar la eficiencia de uso de los nutrientes del purín con prácticas de manejo respetuosas con el medio ambiente. Los resultados obtenidos en los ensayos han mostrado que es posible conseguir los mismos rendimientos que los obtenidos con fertilización mineral sin un mayor impacto sobre el medio ambiente, si la aplicación se realiza de forma adecuada. El purín puede por ello sustituir o complementar el uso de fertilizantes minerales, en nuestras condiciones edafo-climáticas de la Cuenca del Ebro (Ferrer *et al.*, 1983; Daudén y Quílez, 2003; Irañeta *et al.*, 2002; Daudén y Quílez, 2004).

Pero para poder utilizar el purín como fertilizante de forma eficiente es necesario realizar una adecuada dosificación. Para ello, **es imprescindible conocer la composición de nutrientes del purín.** Este es el principal inconveniente que dificulta el empleo del purín como fertilizante frente al mineral. Los métodos rápidos que a continuación se presentan son la herramienta necesaria para conocer la riqueza de nutrientes del purín (*Figura 1*) que permitirán calcular las dosis a aplicar en el momento oportuno.

II. Objetivos

Los objetivos que nos planteamos en el presente trabajo son los siguientes:

- Exponer los **factores que afectan a la variabilidad de la composición del purín porcino** y sus implicaciones en el establecimiento de un Plan de Fertilización.
- **Puesta a punto de métodos rápidos de determinación del contenido de nutrientes del purín porcino existentes**, evaluando sus ventajas e inconvenientes.

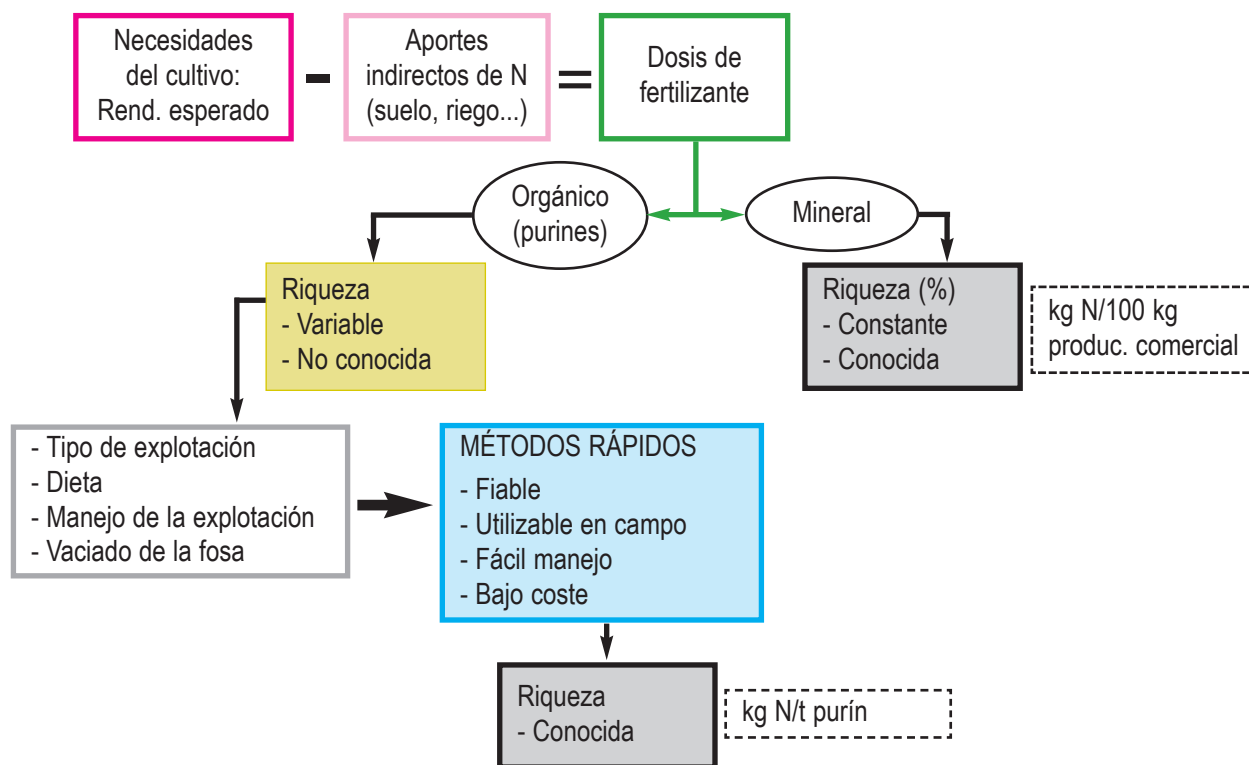


Figura 1. Factores que afectan al cálculo de la dosis de fertilizante

III. Composición del purín

El manejo agronómico del purín porcino exige un conocimiento de su contenido de nutrientes y su comportamiento como fertilizante. El purín es, según Abaigar *et al.* (1999), el conjunto de heces y orina eliminados por los animales, a los que se añade: el agua **del interior de las naves** (desperdiciada por los bebederos automáticos, pérdida en las fugas de la canalización, agua de limpieza, el pienso desperdiciado en las tolvas y comederos) y agua procedente **del exterior de las naves** (lluvia sobre fosos y balsas descubiertas, escorrentía que por superficie, llega a los fosos exteriores).

Según Abaigar *et al.* (2004) la reducción del volumen de purines producido en la explotación es una tarea a la que deben aplicarse los ganaderos por dos razones: una medioambiental, la de reducir emisiones al medio, siendo éste uno de los pilares del desarrollo sostenible (reducir-reciclar-reutilizar) y otra económica, ya que en la cuenta de gastos de la explotación los costes de transporte de purín presentan un coste fijo por volumen producido. La reducción del volumen de purines, y por tanto el control de su dilución, se puede llevar a cabo en las naves (agua de bebedero, agua de limpieza y refrigeración) y en la fosa de almacenamiento (aguas pluviales). Esta reducción del volumen producido implica un aumento del valor fertilizante del purín por metro cúbico, además de reducir el coste de transporte (ya que transportar agua supone los mismos costes que transportar purín).

Para una correcta aplicación de los purines como fertilizante agrícola es necesario considerar su composición, especialmente el contenido en macronutrientes y los requerimientos nutricionales del cultivo al que se va a aplicar. El contenido de elementos nutritivos del purín es interesante desde el punto de vista de la fertilización, ya que permite un ahorro de fertilizantes minerales nada despreciable. Pero es necesario realizar una gestión adecuada del purín, debido a que una mala gestión conlleva tanto problemas medioambientales (lavado de nitrato, volatilización de amoníaco, desnitrificación, acumulación de metales pesados) como agronómicos, referentes a carencias ó excesos de elementos nutritivos para el cultivo. La finalidad es conseguir un equilibrio entre las aportaciones y las extracciones de la planta (Danés *et al.*, 1994), es decir, la sostenibilidad del sistema agrario.

El **purín porcino** tiene algunas particularidades frente a otros fertilizantes orgánicos, que es importante conocer (Betrán, 1997):

- presenta una **elevada concentración de nitrógeno y muy baja relación C/N**, lo que hace que su descomposición sea muy rápida, liberando pronto el N que contiene.
- tiene un **efecto directo importante** en el momento de su aplicación, ya que una gran parte del nitrógeno queda disponible para la planta al poco tiempo de ser aplicado al suelo. Se trata de nitrógeno amoniacal y parte del nitrógeno orgánico que es mineralizado rápidamente (el año del cultivo). Aproximadamente el 75 % del N del purín se encuentra en forma amoniacal (Abaigar *et al.*, 1999), que estará disponible para el cultivo durante el primer año de su aplicación, y tiene un efecto fertilizante similar al nitrato amónico ó la urea.
- tiene un **efecto residual**, que aunque pequeño es importante considerarlo. Aunque la mayor parte del nitrógeno se libera durante el primer año como se ha comentado anteriormente, aproximadamente una cuarta parte ($\frac{1}{4}$) del N que se aporta se incorpora al suelo en forma de materia orgánica. En años posteriores este N es mineralizado lentamente por los microorganismos del suelo, este efecto se conoce como "efecto residual". La liberación progresiva del nitrógeno sigue las denominadas series decrecientes (Pratt *et al.*, 1973; Magdoff, 1978; Klausner *et al.*, 1994).

III.1. Factores que afectan a la composición del purín

Existe una alta variabilidad en la composición del purín dependiendo del tipo de explotación, la edad, dieta y el manejo de la explotación (tipo de bebedero, manejo del agua, etc...). También podemos encontrar variabilidad en la composición en una misma granja según la estación del año y el momento de vaciado de la fosa, ya que se produce una estratificación. Cuando el purín se encuentra almacenado en la fosa (**Figura 2**) tiene lugar un proceso de sedimentación, que afecta a la distribución de nutrientes en las diferentes profundidades o niveles de la fosa. En la **estratificación de los nutrientes en la fosa** se pueden diferenciar tres capas: una de **material sedimentado** en la parte inferior de la fosa, densa, rica en elementos minerales principalmente fósforo y nitrógeno orgánico, una **fracción líquida** que contiene los elementos solubles como el nitrógeno amoniacal y potasio, y una **costra superficial** formada por materias celulósicas, con parte del nitrógeno orgánico. La sedimentación de nutrientes del purín en los distintos estratos de la fosa tendrá implicaciones en el momento de repartir los elementos nutritivos del mismo.

Resulta fundamental conocer la composición del purín para poder calcular la dosis que debemos aportar al cultivo. Disponemos de varias opciones para estimar ó conocer la composición del purín: consulta de datos bibliográficos, analítica en laboratorio y análisis mediante métodos rápidos.



Figura 2. Fosa de almacenamiento de purín

En una primera aproximación, los **datos bibliográficos** pueden ayudar a estimar el contenido de nutrientes de un purín determinado teniendo en cuenta el tipo de explotación, siempre y cuando podamos elegir alguna tabla elaborada con unas condiciones de manejo similares a las nuestras. A modo de ejemplo, se muestra en la **Tabla 1**, la composición de purín porcino procedente de explotaciones de cebo en función del tipo de bebedero utilizado (Irañeta *et al.*, 2002).

Pero, hay que considerar que la variabilidad en el contenido de nutrientes del purín es también alta dentro de un mismo tipo de explotación y va asociado al manejo y la edad: maternidad, cebo, wean to finish, isowean... Por ello, la consulta de tablas de la bibliografía es solo una primera aproximación que no permite cuantificar el contenido de nutrientes del purín con el que pretendemos fertilizar.

Tabla 1. Variabilidad de la composición del purín según tipo de explotación y tipo de bebedero

Tipo de Explotación		Macronutrientes (kg/m ³)		
		Nitrógeno total (N _{total})	Fósforo (P ₂ O ₅)	Potasio (K ₂ O)
Maternidad		3,05	2,60	1,70
Cebo		5,54	4,71	3,02
Cebo	Tipo de bebedero			
	Tolva en húmedo	8,14	6,25	4,64
	Sopa	6,37	5,38	3,32
	Cazoletas	5,37	5,19	2,85
	Chupetes	2,28	2,00	1,25

Abaigar et al., (2004).

Para **cuantificar los nutrientes** del purín disponemos de:

El **análisis completo** del contenido de nutrientes (N-P-K) en laboratorio, repetido con cada una de las cubas, sería el método más adecuado. Sin embargo, esto permite cuantificar las cantidades de nutrientes aplicadas "a posteriori", una vez que el purín ha sido aplicado al suelo, pero no permite ajustar las dosis de purín en el momento de ser aplicado. Otra opción, que sería el análisis en laboratorio del purín de la fosa, tampoco es factible para el agricultor ya que el envío de la muestra al laboratorio supone un incremento del coste importante y retraso considerable en las tareas de campo.

Los **métodos rápidos de medida "in situ"**. Existen en el mercado métodos a disposición del agricultor-ganadero, que le permiten, con buena fiabilidad, rapidez, sencillez y bajo coste, conocer el contenido de N amoniacal del purín en cada una de las cubas, con el fin de optimizar su dosificación. Estos métodos se describen en el apartado IV de la presente información técnica.

El nitrógeno es un elemento clave en la fertilización de los cultivos, puesto que su buen manejo nos permitirá el éxito agronómico, y por tanto es fundamental conocer el contenido de este elemento en el purín. La adecuada valoración del contenido del N del purín permite establecer la dosis a aplicar, según las necesidades del cultivo. Esto supone un ahorro económico de fertilizantes minerales, y una reducción de las posibles afecciones medioambientales negativas como: lixiviación de nitrato y escorrentía de nutrientes por el uso de dosis excesivas (Piccinini y Bortone, 1991).

III.2. Efecto del origen del purín y su composición, en el Plan de Fertilización

Un ejemplo claro de variabilidad de purín es la diferente composición entre explotaciones de maternidad y de cebo (**Tabla 1**). Esto afecta de forma importante en el momento de establecer un Plan de fertilización con purín. Por ejemplo, consideremos el contenido en macronutrientes del purín procedente de una explotación de maternidad con una composición media de: 3,1 kg N-2,6 kg P₂O₅-1,7 kg K₂O por m³ y en una explotación cebo, con una composición media de: 5,5 kg N-4,7 kg P₂O₅-3,0 kg K₂O por m³. Si se establecen las dosis en función del contenido en N, la dosis será 1,7 veces menor cuando se aplique el purín de cebadero que cuando se aplique el de maternidad.

¿Qué dosis debemos aplicar de purín?

¿Cuanto vale 1 m³ de purín en relación al fertilizante mineral utilizado en los cereales?

Para poder calcular la dosis de purín necesaria para un cultivo en base a que el N aplicado sea equivalente al N aplicado con un fertilizante mineral, necesitamos **conocer ó estimar**:

- las necesidades del cultivo, que dependen del rendimiento esperado
- los contenidos de nutrientes del suelo
- el contenido de nutrientes del purín
- la eficiencia de los nutrientes del purín respecto al fertilizante mineral

Parámetros necesarios para conocer ó estimar la dosis de purín	Ejemplo de ahorro de fertilizante mineral en un cereal
Las necesidades del cultivo dependen del rendimiento esperado.	- Las necesidades de un cultivo de cereal en N - P ₂ O ₅ -K ₂ O se estiman en 30-16-24 kg/t de cereal (Domínguez-Vivancós, 1984).
Los contenidos de nutrientes del suelo.	- Suponemos un contenido de nutrientes en el suelo medio. El criterio de fertilización, es la restitución de nutrientes extraídos por el cereal.
Contenido de nutrientes del purín.	<ul style="list-style-type: none"> - Suponemos un purín procedente de maternidad de composición: 3,1 kg N - 2,6 kg P₂O₅ - 1,7 kg K₂O por m³ - Suponemos un purín procedente de cebo de composición: 5,5 kg N - 4,7 kg P₂O₅ - 3,0 kg K₂O por m³
La eficiencia de los nutrientes respecto a los fertilizantes minerales.	- La eficiencia del purín respecto al abono mineral es para el nitrógeno (N) de 0,60, y para el fósforo (P) y potasio (K) de 0,85 (Kolenbrander, 1980; Lecompte, 1981; Danés <i>et al.</i> , 1996; Irañeta <i>et al.</i> , 2002).
Los costes de fertilizante mineral 0,622 €/UF de nitrógeno (N), 0,518 €/UF de fósforo (P ₂ O ₅) y 0,367 €/UF de potasio (K ₂ O), sin incluir los costes de aplicación del fertilizante mineral (MAPA, 2006) ⁽¹⁾ .	

⁽¹⁾ No se contempla el reciente incremento de los fertilizantes, ni la repercusión de los costes energéticos en el transporte, dado que en este momento (junio de 2008) no se vislumbra cuál puede ser el final de esta evolución.

Para fertilizar 1 hectárea de cereal con un rendimiento esperado de 3-3,5 t/ha necesitamos aplicar sus extracciones: 90-105 kg N/ha, 48-56 kg P₂O₅/ha y 75-90 kg K₂O/ha. Con el **criterio de fertilización en base a las necesidades de nitrógeno**, y considerando la eficiencia de los nutrientes del purín respecto al fertilizante mineral, para fertilizar 1 hectárea de cereal (3-3,5 t/ha) se necesitan **50 m³ de purín de maternidad** (Tabla 2 -3,1 kg N - 2,6 kg P₂O₅ - 1,7 kg K₂O por m³) con un valor de **2,23 €/m³**, y en cambio se necesitan solo **30 m³ de purín de cebo** (Tabla 3 - 5,5 kg N - 4,7 kg P₂O₅ - 3,0 kg K₂O por m³) con un valor de **3,8 €/m³**.

Tabla 2. Valor fertilizante del purín de maternidad (€/m³) para cereal (3-3,5t/ha)

Purín de Maternidad	1 m ³ contiene ⁽¹⁾ :	Dosis de purín = 50 m ³ /ha	Extrac. Cereal (3-3,5 t/ha)	Precio €/UF	Valor fertilizante del purín (€/m ³)
	3,1 kg N	95 kg N/ha	95 kg N/ha	0,622	1,18
	2,6 kg P ₂ O ₅	110 kg P ₂ O ₅ /ha ⁽²⁾	48 kg P ₂ O ₅ /ha	0,518	0,50
	1,7 kg K ₂ O	75 kg K ₂ O/ha	75 kg K ₂ O/ha	0,367	0,55
					2,23 €/m³

⁽¹⁾ Considerando la eficiencia de los nutrientes del purín respecto al fertilizante mineral.

⁽²⁾ Para calcular el ahorro de fertilizante P solo se consideran la extracción del cereal, ya que el exceso de este macronutriente aplicado con el purín no repercute ni en la producción ni en un ahorro de fertilizante mineral.

Tabla 3. Valor fertilizante del purín de cebo (l/m³) para cereal (3-3,5t/ha)

Purín de Cebo	1 m ³ contiene:	Dosis de purín 30 m ³ /ha	Ext. Cereal (3-3,5 t/ha)	Precio l/UF	Valor fertilizante del purín (l/m ³)
	5,5 kg N	99 kg N/ha ⁽¹⁾	99 kg N/ha	0,622	2,05
	4,7 kg P ₂ O ₅	120 kg P ₂ O ₅ /ha	48 kg P ₂ O ₅ /ha	0,518	0,82 ⁽²⁾
	3,0 kg K ₂ O	78 kg K ₂ O/ha	78 kg K ₂ O/ha	0,367	0,95
					3,82 l/m³

⁽¹⁾ Considerando la eficiencia de los nutrientes del purín respecto al fertilizante mineral.

⁽²⁾ Para calcular el ahorro de fertilizante P solo se consideran la extracción del cereal, ya que el exceso de este macronutriente aplicado con el purín no repercute ni en la producción ni en un ahorro de fertilizante mineral.

Para calcular la **rentabilidad de la aplicación de purín respecto al fertilizante mineral**, debemos tener en cuenta los costes de transporte del purín. Se trata de llegar a un equilibrio en los costes cuando transportamos el purín, hasta una distancia en la que los costes de transporte sean igual al ahorro de los fertilizantes minerales a los que sustituye el purín. Los valores de estas distancias para distintos equipos de aplicación para el caso del cereal explicado anteriormente pueden observarse en la **Tabla 4** (Iguácel *et al.*, 2007).

Tabla 4. Distancias para las que el coste de transporte del purín iguala al coste del fertilizante mineral, dependiendo del equipo de transporte y tipo de explotación

Tipo explotación (kg/m ³)	Valor fertilizante del purín en cereal	Distancia ⁽¹⁾	Equipo
Maternidad (3,1-2,6-1,7)	2,2 l/m ³	2,5 km	Medios propios: Tractor cuba
		2,8 km	
		11,6 km	175 CV-20m ³
			Contratando el servicio de camión coste 55 l/h
Cebo (5,5-4,7-3,0)	3,8 l/m ³	7,5 km	Medios propios: Tractor cuba
		13,2 km	
		23,0 km	175 CV-20m ³
			Contratando el servicio de camión coste 55 l/h

⁽¹⁾ La distancia se ha calculado a partir de los costes de transporte para diferentes equipos de aplicación de purín según Iguácel *et al.*, (2007).

A distancias inferiores de las indicadas se produciría un "beneficio" en la fertilización con purín respecto a la fertilización mineral tradicional, siempre con un uso eficiente del purín. El agricultor, cuando utiliza el purín como fertilizante sustituyendo al fertilizante mineral, pretende obtener este beneficio. El ganadero también intentará buscar el beneficio, pero su situación es diferente, ya que él tiene la necesidad de vaciar el purín de la fosa, luego puede invertir en transportar el purín hasta igualar el coste de transporte de purín al coste de la fertilización mineral (**Tabla 4**). Los valores mostrados pretenden ser un ejemplo; hay que tener en cuenta que el valor fertilizante del purín depende de su contenido en nutrientes y en el cultivo en que es utilizado, por ello la necesidad de conocer los nutrientes que contiene nuestro purín y las extracciones del cultivo.

La variabilidad de la composición tiene implicaciones importantes en el establecimiento del Plan de Fertilización con Purín. La adecuada estimación del contenido en nutrientes, especialmente del N, es imprescindible en la valoración de la dosis de aplicación, según las necesidades de los cultivos, favoreciendo el ahorro económico de fertilizantes minerales y además reduciendo posibles riesgos medioambientales. **Por lo tanto dosificaremos el purín en función del N que contenga, no en metros cúbicos ó toneladas por hectárea.**

También hay que tener presente que el valor agronómico del purín debe ser atribuido a la totalidad de los elementos minerales que contiene, no únicamente al nitrógeno, fósforo y potasio, sino también a otros elementos esenciales como azufre, magnesio, etc..., que son aportados en cantidades suficientes para prevenir posibles deficiencias (Danés *et al.*, 1996; Irañeta *et al.*, 2002) en monocultivos.

IV. Métodos rápidos de análisis de purín

Existen en el mercado diferentes métodos rápidos para conocer el contenido de nutrientes de los purines y que han sido evaluados por diferentes autores (*Tabla 5*):

Tabla 5. Resumen de métodos rápidos de determinación de macronutrientes en purines

Método rápido	Nutriente	Referencias
Quantofix®	N-NH ₄ ⁺	Piccinini y Bortone (1991); Irañeta y Abaigar, (2002).
Agros®	N-NH ₄ ⁺	Bertrand y Smaghe (1985); Piccinini y Bortone, (1991); Levasseur (1998); Van Kessel y Reeves (2000).
Reflectometría (Reflectoquant®)	N-NH ₄ ⁺	Van Kessel y Reeves (2000).
Potenciometría (electrodo selectivo)	K	Bertrand y Smaghe (1985).
Densimetría	N _{total} , P	Tunney (1975); Villar <i>et al.</i> (1984); Bertrand y Smaghe (1985); Chescheir <i>et al.</i> , (1985), Levasseur (1998); Scotford, <i>et al.</i> , (1998); Van Kessel <i>et al.</i> , (1999); Van Kessel y Reeves, (2000); Monge <i>et al.</i> , (2001); Sánchez-Báscos, (2001); Irañeta y Abaigar, (2002); Zhu, <i>et al.</i> , (2003); Zhu, <i>et al.</i> , (2004).
Conductimetría	N-NH ₄ ⁺ , K	Stevens <i>et al.</i> , (1995); Levasseur, (1998); Scotford, <i>et al.</i> , (1998); Van Kessel y Reeves, (2000); Monge <i>et al.</i> , (2001).
Infrarrojo cercano (NIR)	N-NH ₄ ⁺ , N _{total} , P	Reeves, (2006).

En general, la mayoría de estos autores han obtenido buenos resultados con cada uno de los métodos rápidos. Pero estos métodos rápidos no están exentos de limitaciones cuando los aplicamos al purín porcino. Con algunos métodos se hace necesaria la dilución de la muestra de purín, como es el caso de la conductimetría (1:10) y reflectometría (1:100), lo que podría afectar a la precisión del método. En el caso del Quantofix® y Agros® (con el mismo fundamento pero comercializados por diferentes marcas), son muchos los autores que coinciden en que la fiabilidad disminuye cuando las concentraciones de N del purín son altas (> 5-6 kg N-NH₄⁺ /m³, valores habituales que se pueden dar en nuestras explotaciones de cebo).

Algunos de estos métodos rápidos dan una medida directa del contenido de N amoniacal del purín, como el Quantofix®, Agros®, Reflectoquant® (reflectometría) ó potenciometría. Otros, en cambio, miden el contenido de N de manera indirecta por lo que precisan de una calibración previa, o relación entre la variable medida y el contenido de N, como son el infrarrojo cercano (NIR), la densimetría y la conductimetría.

El Centro de Investigaciones y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA) y el Centro de Transferencia Agraria (CTA), han realizado varios trabajos con el **objetivo de poner a punto un método rápido, fiable y robusto para uso en campo que permita estimar el contenido de nitrógeno en el purín**. La elección de los métodos rápidos a evaluar, se realizó en base a la facilidad de adquisición, es decir, su disponibilidad en el mercado y a la facilidad de manejo en campo. Por ello, se eligieron como métodos directos el Quantofix® y Agros® (Agrolisier®). El método directo Reflectoquant® (Merck®)

basado en la técnica de reflectometría, pero este método se descartó debido a que se requiere una dilución muy alta (1:100) que afectaba a la fiabilidad del método en las pruebas previas realizadas. Como métodos indirectos se evaluaron la **conductimetría** y la **densimetría**.

Dada la importancia del fósforo y potasio en la fertilización, se han utilizado algunos de estos métodos rápidos, que se han considerado adecuados para valorar también los contenidos de fósforo y potasio. Así, se ha utilizado la densimetría en el caso del fósforo, y la conductimetría y potenciometría mediante electrodo selectivo en el del potasio.

Se recogieron un total de 57 muestras de purín porcino en diferentes localidades de Aragón y en diferentes tipos de explotación (31 explotaciones de cebo, 6 explotaciones de transición y 20 explotaciones maternidad ó gestación). En una porción de la muestra se determinó "in situ", el N amoniacal con el Quantofix® y Agros® (n = 18 muestras), la conductividad eléctrica (1 parte purín y 9 partes de agua destilada) y la densidad. La otra porción fue enviada a un laboratorio, en donde se determinó por métodos oficiales pH_{1,5}, densidad, conductividad eléctrica (CE), materia seca, materia orgánica, N orgánico, N amoniacal, fósforo y potasio; esto permitió evaluar la fiabilidad de los métodos rápidos utilizados. Adicionalmente se realizaron encuestas en las que se registró el tipo de granja, su manejo (manejo del agua, tipo de bebedero, tipo de alimentación...) y la localización de la muestra tomada. Ello permitió caracterizar la composición de los purines según los distintos tipos de granja, y aumentar así el conocimiento sobre los factores que afectan a la variabilidad de su composición.

IV.1. Métodos directos de medida del N amoniacal del purín

Principios del método Quantofix® y método Agros®

El Quantofix® N-volumeter fue desarrollado por la compañía alemana Rimu-Luftugstecmnik. El principio de medida del Quantofix® se basa en la **transformación de todo el nitrógeno amoniacal presente en el purín en nitrógeno gas**. El método Quantofix® utiliza un reactivo suministrado por la propia empresa fabricante. Piccinini y Bortone (1991) desarrollaron un reactivo de adquisición económica y fácil y que es el utilizado por la mayor parte de los usuarios.

El aparato Quantofix® mide la variación de nivel de la columna de agua desplazada por el N₂ formado (**Figura 3**, izqda), en una probeta graduada en kg N-NH₄⁺/m³. La lectura, por tanto, fue inmediata y permitiría conocer de una manera sencilla el contenido de N-NH₄⁺ del purín antes de su aplicación.

Para su utilización se mezclan en el bote de muestra del Quantofix® 100 ml de purín y 200 ml de agua destilada y se cierra. En el bote de reactivo se colocan 150 ml de reactivo y una vez bien cerrado el circuito se vuelca sobre el bote de muestra, donde se produce la reacción y el gas N₂ formado pasa a través del tubo al depósito de agua conectado con la probeta, donde se produce un desplazamiento del nivel del agua. Pasados unos cinco minutos el nivel de agua se estabiliza y se puede proceder a la lectura del contenido de amonio en kg N-NH₄⁺/m³.

El aparato Agros® (**Figura 3**, dcha) mide la presión que ejerce el N₂ (gas) sobre un manómetro graduado en kg N-NH₄⁺/m³. Para su utilización se introducen en el Agros® una dosis de purín (se incluye un dosificador en el kit) y tres dosis de agua destilada. En la tapa del Agros® se coloca una cuchara de hidróxido sódico granulado (incluida en su kit) y media cuchara de hipoclorito sódico, se cierra y enrosca el Agros®, seguidamente agitando para facilitar la reacción, el gas N₂ formado ejerce presión que es medida con el manómetro graduado.

Los resultados mostraron que el Quantofix® no responde aceptablemente a concentraciones >5 kg N-NH₄⁺/m³, por lo que las lecturas necesitan, bien ser ajustadas, utilizar una dosis doble de reactivo ó diluir y ajustar con el factor de dilución para tener resultados fiables. El Agros® no respondió a concentraciones >3 kg N-NH₄⁺/m³, precisando de dilución casi de forma habitual, necesitando ajustar la lectura por el factor de dilución utilizado.



Figura 3. Vista del aparato Quantifix® (izquierda) y Agros® (derecha) utilizados en las determinaciones de las muestras de purín

Tabla 6. Ventajas e inconvenientes de la utilización del Quantifix®

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> - Es un método rápido directo, transformación del N-NH_4^+ a N_2 (gas). - Buenos resultados para contenidos < 5 $\text{kg N-NH}_4^+/\text{m}^3$. 	<ul style="list-style-type: none"> - Precisa de reactivos. - Para contenidos > 5 $\text{kg N-NH}_4^+/\text{m}^3$, se debe duplicar el reactivo ó necesidad de ajuste de lecturas con calibración de patrones. - Reactivos pierden efectividad (caducan), sobre todo con altas temperaturas en verano. Necesidad de adquirirlos para cada aplicación.

IV.2. Métodos indirectos de medida del N amoniacal del purín

Principio de la densimetría

La medida de la densidad se basa en la relación lineal entre el contenido de N total del purín y el porcentaje de materia seca en el mismo (Tunney, 1975). La densidad se determinó con un densímetro graduado en milésimas de 1.000 a 1.100 kg/m^3 , marca Proton nº 37711 calibrado a 15°C con un error inferior a $0,001$ unidades (Figura 4). La muestra de purín se colocó en un recipiente y tras ser agitada y reposada se procedió a la medida de la densidad y la temperatura.



Figura 4. Vista del densímetro utilizado en las muestras de purín

La densidad es una medida indirecta del contenido de nitrógeno del purín y es necesario establecer previamente una relación de calibración entre las lecturas de la densidad y el contenido de N del purín, también es empleado como una medida indirecta del contenido en fósforo del purín.

Los resultados no mostraron ninguna relación entre el contenido de N amoniacal del purín y la densidad, en cambio si se encontró una relación entre la densidad y el N en forma orgánica y el fósforo. Esto se explica debido a que la densidad se correlaciona muy bien con la parte sólida y es en esta parte donde se encuentra el N orgánico y el fósforo.

Tabla 7. Ventajas e inconvenientes de la utilización de la densimetría

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> - Es un método rápido. - Resultados aceptables para el contenido de N en forma orgánica del purín y el fósforo. - Muy barato y de fácil adquisición. - No precisa reactivos. 	<ul style="list-style-type: none"> - No se puede utilizar para determinar el $N-NH_4^+/m^3$. - Es un método indirecto, precisa de una recta de calibración previa, para obtener el contenido de $N_{orgánico}$ y fósforo. - Muy frágil para su uso en campo (vidrio).

Principio de la conductimetría

La conductividad eléctrica (CE) es una medida indirecta de la concentración de iones en una solución. Para muestras con pH cercano a la neutralidad, como en los purines, la contribución de los iones H^+ y OH^- a la CE es mínima y el valor de la CE está condicionado por la concentración de los cationes y aniones mayoritarios presentes. En el caso del purín porcino el catión predominante es el NH_4^+ seguido del K^+ (Stevens *et al.*, 1995) por ello, la CE puede ser utilizada como una medida indirecta de la concentración de NH_4^+ y potasio en el purín. Debido a que la CE no es una medida directa del N amoniacal del purín es necesario establecer, como en cualquier método indirecto una relación de conversión entre ambas variables.

Cuando las soluciones se encuentran muy concentradas la relación entre la CE y la concentración de iones en solución deja de ser lineal debido a las interacciones eléctricas e iónicas entre los iones cargados, entre ellos la formación de pares iónicos neutros (Aragüés *et al.*, 1986), este es el caso del purín porcino. Para evitar estos problemas y trabajar en el rango lineal de relación entre la CE y la concentración de iones es necesaria la dilución del purín. **La dilución 1:9 del purín (1 parte de purín por 9 partes de agua destilada), permite trabajar en el rango lineal y además obtener una equivalencia entre la lectura de la CE en dS/m y el contenido de N amoniacal del purín en $kg N-NH_4^+/m^3$.**

La conductividad eléctrica en la dilución 1:9 se determinó con dos conductímetros, un conductímetro portátil de campo TetraCon 325, WTW Werkstätten GmbH Nad Co.KG, modelo LF 318/SET con un rango de lectura de 0-200 dS/m y con una precisión de $\pm 0,01$ dS/m (*Figura 5, izquierda*) y un conductímetro de bolsillo con una precisión $\pm 0,20$ dS/m, marca comercial Nahita modelo 908/5 (*Figura 5, derecha*). El conductímetro de bolsillo se utilizó con el objetivo de disminuir los costes del método, ya que su valor de adquisición es notablemente inferior al conductímetro portátil, aunque su precisión es también menor.

Los resultados obtenidos en los trabajos realizados indican una fuerte relación entre ambas variables, la CE1:9 (dS/m) y el contenido N amoniacal ($kg N-NH_4^+/m^3$) determinado en laboratorio. Además la lectura de la CE1:9 mediante un conductímetro portátil en dS/m equivale prácticamente con exactitud al valor del contenido de N en forma amoniacal en kg/m^3 .

Además de obtener una buena fiabilidad de los resultados mediante la conductimetría como método rápido, este método es robusto, de fácil manejo en campo y de lectura directa a pesar de ser un método indirecto, lo que soluciona el principal inconveniente de los métodos indirectos (calibración-recta de conversión previa) y puede ser adoptado como método rutinario. Además, **los resultados obtenidos con el conductímetro de bolsillo, mostraron una muy buena correlación con el resto de métodos rápidos de campo. Se concluyó que el conductímetro de bolsillo, presenta una fiabilidad aceptable en la determinación del contenido de N amoniacal del purín porcino.**



Figura 5. Vista del conductímetro de campo portátil (izqda) y del conductímetro de bolsillo (dcha) utilizado en las mediciones

Tabla 8. Ventajas e inconvenientes de la utilización de la conductimetría (dilución 1:9)

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> - Es un método rápido. - Resultados aceptables para el contenido de $\text{N-NH}_4^+/\text{m}^3$. - Utilizando la dilución 1 purín: 9 agua destilada, el valor de la CE coincide numéricamente con el contenido de $\text{N-NH}_4^+/\text{m}^3$. No precisa de calibración previa. - Barato y de fácil adquisición. - No precisa reactivos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Es un método indirecto.

IV.3. Evaluación de métodos rápidos de determinación de la composición del purín

Este procedimiento de medida del nitrógeno amoniacal en el purín mediante conductimetría está recogido en la solicitud de patente 200702618.

La evaluación de métodos rápidos se realizó siguiendo los criterios:

- **Fiabilidad:** Se evaluó con el coeficiente de determinación de las rectas de regresión ajustadas entre las lecturas de cada uno de los métodos y el valor de referencia de laboratorio.
- **Facilidad de manejo:** Se consideró el número de operaciones necesario para llevar a cabo la determinación (incluyendo la preparación de reactivos).

- **Rapidez:** Se consideró el tiempo necesario para realizar la determinación, incluyendo el tiempo adicional necesario de preparación de la muestra.
- **Robustez del equipo:** Se ha incluido no solo la vida útil del instrumento, sino también el coste medio de su mantenimiento.
- **Coste de la determinación:** Consta del coste del equipo y del material necesario para llevar a cabo las determinaciones.

La densimetría fue descartada para la determinación del N amoniacal, debido a que no presentó ninguna relación con el N amoniacal obtenido en el laboratorio, aunque sí se encontró una relación entre el contenido de N orgánico y el fósforo del purín. Como se ha comentado anteriormente, el aparato Agros[®], presentó errores considerables cuando las concentraciones de N amoniacal fueron superiores a 3 kg N-NH₄⁺/m³, lo que implica que es necesaria una dilución y deja por tanto de ser una lectura directa, ya que necesita de un ajuste, y dificulta su empleo por el ganadero o el agricultor. El método mejor valorado para la determinación del N amoniacal del purín fue la conductimetría (*Tabla 9*).

Tabla 9. Evaluación de los métodos rápidos empleados para la determinación de N amoniacal en purín porcino

Método	Fiabilidad	Facilidad de manejo	Rapidez	Robusto	Coste € / instrumento	Coste € / muestra
Quantofix [®]	++++	++	+++	++++	450-500	0,50
Agros [®]	++	+++	++++	++++	400-450	0,50
Densimetría ⁽¹⁾	----	----	----	----	17-20	-
Conductimetría						
CE- portátil	+++++	++++	++++	+++	400-450	-
CE- bolsillo	++++	++++	++++	++++	70-75	-

⁽¹⁾ Densidad no es fiable como método rápido para la determinación de N amoniacal, pero mostró resultados aceptables para el contenido de N orgánico y fósforo del purín.



Conclusiones

- Existe una **gran variabilidad del valor fertilizante del purín porcino según explotaciones, e incluso dentro del mismo tipo de explotación**, asociado principalmente al manejo de la misma. Por ello, se recomienda realizar dos analíticas completas en laboratorio en dos períodos, verano e invierno (siempre que se realice el mismo tipo de manejo de la explotación). Siempre es necesario utilizar un método rápido de determinación del N en forma amoniacal (N-NH_4^+) "in situ" para calcular la dosis de purín en el momento de su aplicación.
- El **conocimiento del contenido de N del purín es esencial para la determinación de la dosis adecuada a aplicar**. Este conocimiento evita las dosis excesivas que llevan a pérdidas de rendimiento (encamado) e impactos medioambientales, ó infradosificaciones que suponen pérdidas por deficit.
- **Los mejores resultados en la evaluación de los métodos rápidos en purín porcino fueron los obtenidos con el Quantofix® (método directo) y la conductimetría (método indirecto). Ambos permiten conocer el contenido de N en forma amoniacal del purín. La densimetría (método indirecto) presentó unas buenas relaciones con el contenido de N orgánico y el fósforo.**
- **La conductimetría en la dilución 1 parte de purín y 9 partes de agua destilada, pese a ser una medida indirecta da en las condiciones de las granjas analizadas, una lectura directa del contenido de N amoniacal del purín, ya que la lectura de la CE en dS/m coincide con el valor de la concentración de N-NH_4^+ en kg/m^3 .** Este método tiene la ventaja, frente a los métodos directos existentes (Quantofix®), de no necesitar reactivos y una mayor facilidad de manejo en campo. Además la utilización de un conductímetro de bolsillo, aunque con menor precisión, fue lo suficientemente fiable para este tipo de analítica, y ello supuso un notable menor coste de adquisición.
- **Para aplicar el purín de forma eficiente es indispensable conocer la composición de purín, dada su variabilidad.** Así, los métodos rápidos son una herramienta útil y accesible para el agricultor/ganadero que permite determinar la dosis a aplicar. **La conductimetría en dilución 1:9 utilizando un conductímetro de bolsillo resulto ser el método rápido mejor valorado de los evaluados.**



Referencias bibliográficas

- (1) ABAIGAR, A.; IÑIGO, J.A; PEREZ, J.J; SANTOS, A; AMEZQUETA, J; CARRO, P. 1999. Purines de porcino (II). Navarra Agraria. 116: 38-48.
- (2) ABAIGAR, A; IÑIGO, J.A; CORDOVÍN, L. 2005.- Como reducir el volumen de purines producido en las granjas porcinas-I. Navarra Agraria. 152: 55-64.
- (3) ARAGÜES, R; MILLÁN, M; QUÍLEZ, D; FERNÁNDEZ, M. 1986. Métodos de medida de la salinidad del suelo. Comunicaciones INIA Serie General. 18: 172 -182.
- (4) ANUARIO ESTADISTICO DE ARAGON. 2006. Editado por departamento de Agricultura. Secretaria Técnica General.
- (5) BETRÁN, J.1997. Aspectos edafológicos y de fertilización. El suelo en la utilización agrícola del purín en: 1ª Jornada Técnica sobre el Estiércol Fluido Porcino ("purín"). Información Técnica. Núm 31.Gobierno de Aragón. Departamento de Agricultura. Gobierno de Aragón.
- (6) DANÉS, R; MOLINA, U; PRATS, LL; ALAMOS, M; BOIXADERA, J; TORRES, E. 1996. Manual de gestió dels purins i de la seva reutilització agrícola. 128 pág. (Ed) Departament de Medi Ambient, Junta de Residus i Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca Generalitat de Catalunya.
- (7) DAÚDEN, A. QUÍLEZ, D. 2004; Vera, M.V. 2004. Pig slurry application and irrigation effects on nitrate leaching in Mediterranean soil lysimeters. Journal Environmental Quality. 33: 2290-2295.
- (8) DAÚDEN, A; QUÍLEZ, D. 2003. Purines como fertilizantes agrícolas. Albéitar. Publicación para veterinarios y técnicos del sector de animales de producción. 62: 6-7.
- (9) DOMÍNGUEZ-VIVANCOS, A. 1984. Tratado de fertilización. (Ed) Mundiprensa. ISBN. 84-7114-136-1.
- (10) FERRER, P.J; SANZ, J.B; POMAR, J. 1983. Posibilidades de utilización agrícola del estiércol líquido porcino (ELP) en relación a su valor fertilizante y su incidencia sobre el suelo. I composición y valor fertilizante del ELP: Anales del INIA. Serv Agric.23: 35-57.
- (11) IGUACÉL, F; YAGÜE, M.R; ORÚS, F; QUÍLEZ, D. 2007. Evaluación De costes de sistemas y equipos de aplicación de purín (Datos preliminares). Información Técnica Núm 178. Departamento de Agricultura. Gobierno de Aragón.
- (12) IRAÑETA, I; SANTOS, A.; ABAIGAR, A.2002. Purín de porcino. ¿Fertilizante o contaminante?. Navarra Agraria. 132:10-24.
- (13) KLAUSNER, S.D; RAO KANNEGANTI, V; BOULTIN, D.R. 1994. An approach for estimating a decay series for organic nitrogen in animal manure. Agronomy Journal. 86: 897-903.
- (14) KOLENBRANDER, G.J. 1981. Effect of agronomic application of slurry on the yield and composition of arable crops and grassland and on changes in soil properties. En: gasser, J.K.R. (Ed). Effluents from livestock. Applied Science Publishers, Barcking pp: 139-183.
- (15) LECOMPTE, 1980. The influence of agronomic application of slurry on the yield and composition of arable crops and grassland and on changes in soil properties. En: Gasser, J.K.R (Ed). Effluents from livestock. Applied Science PUBLISHERS. Barcking. Pp: 139-183.
- (16) MAGDOFF, F.R. 1978. Influence of manure application rates and continuous corn on soil-N. Agronomy Journal. 70:629-632.
- (17) MAPA. 2006. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Estadística Disponible en: <http://www.mapa.es>.
- (18) STEVENS, R.J; O'BRIC, C.J; CARTON, O.T. 1997. Estimating nutrient content of animal slurries using electrical conductivity. Journal of Agronomy Science. 125. 233-238.
- (19) ORÚS, F. 2007. Fertilización nitrogenada, medioambiente, agricultura y sociedad (apuntes para una visión global). Reunión RUENA. Pamplona.
- (20) PICCININI, M.S; BORTONE, G. 1991. The fertilizer of agricultural manure: simple rapid methods of assessment. Journal Agricultural Engineering Research. 49: 197-208.
- (21) PRATT, P.F; BROADBENT, F.E; MARTIN, J.P. 1973.Using organic wastes and nitrogen fertilizers. California Agriculture.10-13.
- (22) TUNNEY, M. 1975. Fields test for estimating dry matter and fertilizer value of slurry. Irish Journal Agricultural Research. 4 (1): 84-86.

Agradecimientos

Esta publicación no se podría haber llevado a cabo sin la colaboración de los agricultores y ganaderos colaboradores y del personal del Centro de Transferencia Agroalimentaria del Departamento de Agricultura y Alimentación del Gobierno de Aragón. También se agradece la colaboración de las Cooperativas Ganaderas en los proyectos, y la de Miguel Izquierdo por la ayuda prestada en las jornadas demostrativas.



Información elaborada por:

María Rosa Yagüe Carrasco
Dolores Quílez Sáez de Viteri

Unidad de Suelos y Riegos. (Unidad Asociada al C.S.I.C.) C.I.T.A.
Unidad de Suelos y Riegos. (Unidad Asociada al C.S.I.C.) C.I.T.A.

Francisco Iguácel Soteras
Fernando Orús Pueyo

Area de Programas Integrados Alimentarios. C.T.A.
Area de Programas Integrados Alimentarios. C.T.A.

Trabajo financiado por:

- Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA) a través de los proyectos SC0061 y RTA 04-114-C3
- Departamento de Agricultura y Alimentación del Gobierno de Aragón y Unión Europea por la concesión del proyecto demostración MCO-2006-02-50-553-729004

Se autoriza la reproducción íntegra de esta publicación, mencionando su origen:
Informaciones Técnicas del Departamento de Agricultura y Alimentación del Gobierno de Aragón.

Para más información, puede consultar al CENTRO DE TRANSFERENCIA AGROALIMENTARIA:
Apartado de Correos 617 • 50080 Zaragoza • Teléfono 976 71 63 37 - 976 71 63 44

Correo electrónico: cta.sia@aragon.es