

**Trabajo de Fin de Grado:**

**“Caracterización del producto Vitabox aplicado a purines de porcino para la obtención de un potencial abono orgánico sostenible”**

---

Redactado por:

**Lucas Moreno Pérez**

Directora:

**Berta Lasa Larrea**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA Y BIOCENCIAS**

Grado en Ingeniería Agrónoma y del Medio Rural

Pamplona, 2023



## RESUMEN

El volumen de purín que se genera en las explotaciones de porcino es un problema actual con el que está tocando convivir en ciertas regiones rurales con alta concentración ganadera. De igual manera que otros residuos animales, su uso en campo puede ser una opción viable económica y ambientalmente siempre que, se lleve a cabo de una manera adecuada y racional que no desemboque en vertidos contaminantes del suelo afectando a los acuíferos y provocando emisiones de gases de efecto invernadero. Por eso, se plantea usar productos con propiedades tales que estabilicen el nitrógeno del purín para mejorar su papel como fertilizante orgánico evitando estas emisiones de gases contaminantes. La empresa Vitaveris especializada en productos fertilizantes orgánicos, presenta el producto (Vitabox), indicado para utilizarlo junto a los purines con el fin de generar un fertilizante más sostenible y eficiente que el purín por sí solo. El objetivo de este trabajo es comprobar si el producto Vitabox es efectivo disminuyendo la volatilización de amonio y favoreciendo los procesos de nitrificación del amoniaco.

Para este trabajo se van a realizar ensayos de incubación en la finca de prácticas de la Upna con diferentes purines, con y sin producto y con otras herramientas para verificar procesos de nitrificación como con un inhibidor de la nitrificación. Por lo tanto, en los distintos tipos de tratamientos se realizará un seguimiento en el tiempo donde se estudiarán ciertos parámetros como pH y conductividad principalmente. Además del contenido de nitrógeno total y del delta del nitrógeno. Finalmente, se estimará la estabilidad del nitrógeno en el producto resultante y hacer un balance con el que se pueda indicar las pérdidas de nitrógeno en formas no deseadas.

**Palabras clave:** eficiencia fertilizante, nitrificación, purín, volatilización de amonio

## ABSTRACT

The volume of slurry generated in pig farms is a current problem that certain rural regions with high livestock concentration must cope with. Similar to other animal wastes, its use in the field can be a viable economic and environmentally friendly option, provided that it is carried out in an appropriate and rational manner to prevent soil contamination, affecting aquifers, and causing greenhouse gas emissions. Therefore, the use of products with specific properties that stabilize the nitrogen in slurry is proposed to enhance its role as an organic fertilizer and avoid these emissions of polluting gases.

Vitaveris, a company specialized in organic fertilizer products, introduces the product (Vitabox), designed to be used in conjunction with slurry to generate a more sustainable and efficient fertilizer than liquid manure alone. The objective of this study is to investigate whether Vitabox is effective in reducing ammonium volatilization and promoting ammonia nitrification.

To achieve this goal, incubation experiments will be conducted at the Upna experimental farm using different types of slurry, with and without the product, as well as other tools to verify nitrification processes, such as a nitrification inhibitor. The various treatments will be monitored over time, focusing on parameters such as pH and conductivity primarily, in addition to the total nitrogen content and nitrogen delta. Finally, the nitrogen stability in the resulting product will be estimated, and a balance will be conducted to assess nitrogen losses in undesired forms.

**Keywords:** fertilizer efficiency, nitrification, slurry, ammonium volatilization.



## ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1.	Problemática del purín .....	1
1.2.	Directiva relevante, emisiones y olores .....	2
1.3.	Tipos de purín y formas de gestión .....	3
1.4.	Medidas adoptadas .....	4
1.5.	Formas contaminantes del purín .....	5
1.6.	Poder fertilizante del purín .....	7
1.7.	Características del Vitabox .....	8
2.	OBJETIVOS .....	10
3.	MATERIAL Y MÉTODOS .....	11
3.1.	Ensayo de incubaciones de purines con el producto Vitabox.....	11
3.1.1.	Procedimiento de muestreo y medidas in situ .....	14
3.1.2.	Preparación de las muestras de incubación para análisis y determinaciones realizadas sobre dichas muestras .....	16
3.1.3.	Determinación del contenido de P y K en las incubaciones de los bidones aplicadas en el ensayo de producción. ....	17
3.2.	Ensayo de producción y calidad .....	17
3.2.1.	Descripción tratamientos .....	17
3.2.2.	Medidas DUALEX .....	19
3.2.3.	Producción de biomasa .....	20
3.3.	Estadística.....	20
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
4.1.	Experimento de incubación de los purines .....	21
4.1.1.	Evolución de pH y conductividad en los purines.....	21
4.1.2.	Evolución de aniones y cationes de los purines .....	24
4.1.3.	Contenido de PK en los purines tratados utilizados como fertilizantes en el ensayo de biomasa .....	35
4.1.4.	Contenido de N y C total y composición isotópica en las muestras de incubación 37	
4.2.	Resultados ensayo de producción.....	39
4.2.1.	Resultados producción de biomasa .....	39
4.2.2.	Resultados DUALEX .....	41
5.	CONCLUSIONES .....	47
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	48
7.	ANEXO 1 .....	51

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Problemática del purín

La generación de residuos en general produce una gran cantidad de problemas medioambientales que van desde su almacenaje a su eliminación. En el caso concreto de los residuos orgánicos procedentes de la producción animal como es el caso de los purines, es una problemática creciente debido al incremento en la producción de estos animales.

En el caso de España, se ha alcanzado el primer puesto en la producción de ganado porcino en Europa, con más de 28 millones de cabezas y casi 90.000 explotaciones y la tendencia continua en aumento, lo que determina una generación de purines de más de 50 millones de toneladas al año, volumen que bajo ningún concepto puede ser gestionado mediante su aplicación directa en tierras de cultivo (Tinas, 2017).

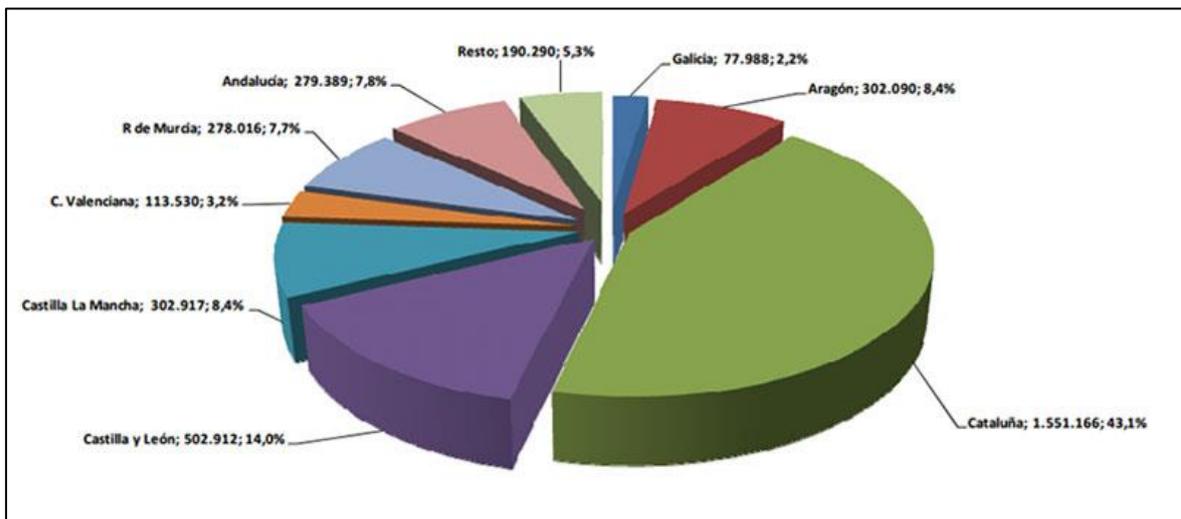


Figura 1: Distribución de la producción de carne de cerdo por comunidades autónomas en el año 2014 (toneladas) fuente: (Magrama, 2015).

Esta situación no es nueva y en algunas comarcas españolas (como Cataluña, Aragón, Castilla y León y Murcia) la elevadísima concentración de granjas está generando excedentes de purín desde hace muchos años y los vertidos incontrolados de los mismos han provocado en algunos casos graves contaminaciones de los acuíferos y una producción excesiva de GEI.

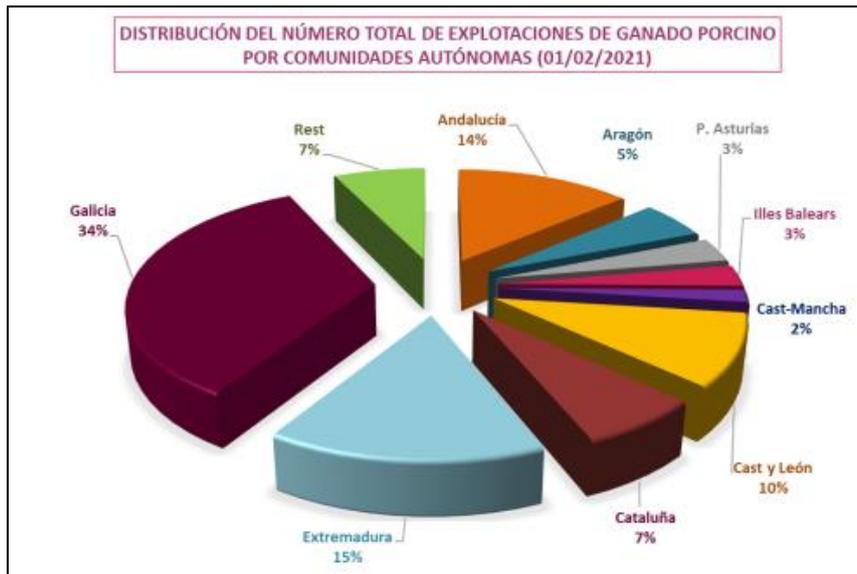


Figura 2: Distribución del número total de explotaciones de ganado porcino por comunidades autónomas en 2021 (Ministerio de Agricultura, 2020).

En primer lugar, las granjas intensivas de cerdos emplean sistemas de limpieza en los que se utiliza agua a presión para el arrastre de las deyecciones. Este sistema, facilita considerablemente el manejo de los excrementos producidos por los animales y aporta mejoras en las condiciones higiénicas y sanitarias de las granjas, por el contrario, la gran desventaja es el incremento del consumo de agua y la complicación del manejo del purín.

Hoy en día, la gran problemática de los purines no es su alta carga orgánica, eso, más que un problema puede ser en la mayoría de los casos un punto a favor ya que, en su utilización agrícola puede mejorar la materia orgánica del suelo utilizándose como fertilizante orgánico. Sin embargo, el mayor problema es su alta concentración en nitrógeno que lo hace potencialmente peligroso para las posibles masas de agua cercanas a su entorno. A su vez, los purines contribuyen en gran parte a las emisiones de amoníaco (emisiones que en España siguen creciendo) y también a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), debido a las emisiones de metano entre otros gases producidas por la aplicación de los purines sin un tratamiento previo.

## 1.2. Directiva relevante, emisiones y olores

Los principales gases contaminantes generados en la producción agrícola y ganadera son el CO<sub>2</sub>, CO, NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>, SH<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y COVs (compuestos orgánicos volátiles), cuyos principales efectos están asociados directa o indirectamente a emisiones con efecto invernadero. Además, la producción de alguno de ellos genera malos olores y tienen consecuencias nocivas sobre la salud de las personas y de los animales.

Por todo ello hay normativas europeas y estatales que regulan el manejo de estos residuos como son:

Real Decreto 324/2000 de 3 de marzo, por el que se establecen normas básicas de ordenación de las explotaciones porcinas.

Real Decreto 47/2022, de 18 de enero que trata sobre la protección de las aguas contra la contaminación difusa producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias, la cual tiene por objeto establecer las medidas necesarias para reducir la contaminación de las aguas

superficiales continentales, las aguas de transición, las aguas costeras y las aguas subterráneas, causada por los nitratos procedentes de fuentes agrarias, y actuar preventivamente contra nuevas contaminaciones de esa clase.

Real Decreto 980/2017, de 10 de noviembre, establece que la aplicación de purín en las superficies agrícolas no podrá realizarse mediante sistemas de plato o abanico, ni cañones. Los estiércoles sólidos deberán enterrarse después de su aplicación en el menor plazo de tiempo posible con ciertas excepciones.

El incumplimiento reiterado de la Directiva en ciertas zonas determinó sanciones al estado español que recomendaron al Gobierno buscar alguna solución. Para ello se buscó una alternativa equivalente a la usada para otros residuos, con la aprobación del Real Decreto 2818/1998, que establecía unas primas para las plantas de cogeneración destinadas al tratamiento de los purines (Tinas, 2017).

Real Decreto 306/2020, de 11 de febrero, por el que se establecen normas básicas de ordenación de las granjas porcinas intensivas, y se modifica la normativa básica de ordenación de las explotaciones de ganado porcino extensivo.

Real Decreto 1051/2022, de 27 de diciembre, por el que se establecen normas para la nutrición sostenible en los suelos agrarios.

Durante muchos años en España y en Europa se han registrado valores excesivos de nitratos en las aguas subterráneas debido a la lixiviación, es por eso que se han tenido que establecer una serie de parámetros limitantes y normas por medio de organismos de control. Previendo así problemas futuros, protegiendo las zonas vulnerables o zonas de interés. Para eso se establecen algunas normas limitantes respecto al uso agrícola de purines como, la prohibición de vertidos en las aguas o la aplicación excesiva en campo que supere el nitrógeno orgánico por hectárea establecido, evitando el uso de cañones de alta aspersión.

### 1.3. Tipos de purín y formas de gestión

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).

En este trabajo solo hablaremos del purín en porcino donde se van a distinguir 2 grandes grupos, purines procedentes de granja de cebo o de maternidad, siendo estas dos unas explotaciones con diferente tipo de purines en cuanto al contenido de N, P y K del purín. En estos dos casos los valores de la explotación de cebo los contenidos de estos elementos suelen ser mayores.

Por otra parte, independientemente del origen del purín, en la granja cada uno de ellos puede ser filtrado o se puede dejar sin filtrar en su forma de purín bruto. Si se filtra se generan dos tipos de residuos el purín líquido y una fase sólida cuya finalidad suele ser el compostaje. Algunos de los métodos de gestión de los residuos porcinos que se pueden utilizar son los que se pueden ver en la figura 3. Como se aprecia en la figura, hay distintos tipos de manejos que producen más emisiones de tipo contaminante que otras y los cuales deben valorarse al tomar una

decisión de gestión de los residuos orgánicos procedentes de las granjas de producción intensiva.

Método de gestión de las deyecciones		Emisión de N-NH <sub>3</sub>	Emisión directa de N-N <sub>2</sub> O
		(% del N excretado)	
Tanques o balsas	Con costra natural	30 (9–36)	0,5
	Sin costra natural	48 (15–60)	0
	Cubierto	10 (3–12)	0,5
Foso bajo <i>slat</i>		25 (15–30)	0,2
Laguna anaerobia no cubierta		40 (25–75)	0
Almacenaje de sólidos		45 (10–65)	1
Almacenaje de sólidos cubierto		22 (4–26)	1
Digestor anaerobio		(5–50)	0,06
Estiércol con cama profunda		40 (10–60)	1 - 7
Compostaje (Pila estática, air. forzada)		65 (14–70)	1
Compostaje en filas (volteado frecuente)		65 (14–70)	0,5
Compostaje en filas (volteado no frecuente)		60 (12–65)	0,5
Tratamiento aerobio, aireación forzada		85 (27–100)	0,5

Figura 3: Diferentes medios de gestión de las deyecciones de purín y las consiguientes emisiones producidas por cada uno de ellos (Flotats, 2022).

#### 1.4. Medidas adoptadas

Los ámbitos social, económico, ambiental y sanitario van a ser claves a la hora de realizar la gestión de residuos en porcino en función de la explotación. A la hora de tomar una decisión, el ámbito económico es uno de los más limitantes respecto a los demás. Sin embargo, se debería adoptar una posición más flexible escogiendo opciones más sostenibles y no contaminantes a la hora de la gestión de residuos porcinos. Adecuándose también a las características y requerimientos de la explotación.

Dentro de los numerosos métodos de gestión o tratamiento del purín, el más clásico es su utilización directa en el abonado de suelos. Otros métodos dentro de su valoración agronómica conllevan un tratamiento previo del purín como son: la separación mecánica de fases para reducir volumen y posterior aplicación en suelos como enmiendas (fase sólida) o en el sistema de riego previo tratamiento de depuración por humedales artificiales (fase líquida), tratamientos biológicos (digestión aerobia o anaerobia), compostaje, y su uso en plantas de cogeneración (López et al., 2011).

No siempre es aplicable la misma alternativa, para cada caso deberá buscarse la que sea más viable, rentable y sostenible. La elección más económica y por tanto más interesante es la

valorización agronómica mediante la aportación directa a campo, aunque esta alternativa es factible siempre y cuando se disponga de la superficie agraria respectiva y se aplique de forma controlada y correcta, dosificando agronómicamente el vertido al suelo.

Las cubiertas en las balsas de purines son un método relevante de reducir las emisiones. Cubrir estas balsas evita la emisión descontrolada de metano y amoníaco y la desnitrificación. Esta técnica funciona mejor cuando la cubierta es estanca y la balsa cuenta con un sistema de recuperación de biogás. Además, al reducirse las emisiones de N por volatilización y desnitrificación, su capacidad como fertilizante se incrementa al aumentar el contenido en nitrógeno del purín, permitiendo así reducir el uso de fertilizantes sintéticos.

Mantener costra permanente en las balsas o fosas de purín se ha demostrado que tiene un resultado beneficioso. La presencia de costra natural en los depósitos de purín se relaciona con la reducción de las emisiones de amoníaco, ya que evita el contacto del purín con la atmósfera, disminuyendo la circulación de aire sobre la superficie emisora. Se considera que el uso de material orgánico en las camas favorece su formación, al igual que también le afectan la forma y la frecuencia de llenado y las condiciones climáticas del entorno.

El compostaje es un tratamiento aeróbico que se aplica sobre el estiércol o sobre la fracción sólida del purín que permite lograr un abono orgánico estabilizado en términos de nitrógeno, con una mayor concentración de nutrientes (elevada concentración de Nitrógeno de liberación lenta), disminución de patógenos y reducción de olores. Al tratarse de un abono estabilizado con elevada concentración de nitrógeno de liberación lenta, las emisiones de amoníaco en campo se reducen significativamente hasta compensar las que se producen en el proceso de compostaje. Es por eso que es mejor cubrir los montones de compost y compactarlos bien para reducir estas emisiones (Campogalego, 2020).

La digestión anaerobia de purines es un proceso biológico en el que la materia orgánica en ausencia de oxígeno y mediante la acción de un grupo de bacterias específicas, se descompone en un gas combustible de elevada composición en metano llamado biogás, y en digestato. Este proceso se lleva a cabo en recipientes herméticos llamados reactores anaerobios o biodigestores. Con este proceso se obtienen dos tipos de productos de los cuales podemos obtener una cierta rentabilidad en un futuro, estos son: biogás (electricidad y calor) y abono. El biogás contiene un alto porcentaje en metano (entre 50-70%), por lo que es susceptible de un aprovechamiento energético mediante su combustión en motores, en turbinas o en calderas, tanto sólo como mezclado con otros combustibles (López et al., 2011). En gran parte de los países europeos, se ha optado por la tecnología de biodigestión del purín para generar biogás, existiendo en la actualidad miles de plantas en la UE. En el proceso de biodigestión se produce una digestión anaerobia.

### 1.5. Formas contaminantes del purín

En lo que concierne a los procesos que pueden ocurrir con el nitrógeno del purín debe tenerse en cuenta el interés de reducir las emisiones de  $\text{NH}_3$  por una parte, para no perder su valor fertilizante, y por otra el amoníaco fue contemplado en 2010 por la Agencia Europea del Medio Ambiente como una de las cuatro emisiones gaseosas más tóxicas que se deben reducir, junto con el dióxido de azufre, los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles es por eso que es un problema actual y con una gran repercusión ambientalmente.

El  $\text{NH}_3$  en menor porcentaje y los óxidos de nitrógeno y dióxidos de azufre son los principales agentes causantes de la acidificación. Es por eso, por lo que estos compuestos que se forman

como, otras formas oxidadas del nitrógeno, al acidificarse y juntarse con agua de lluvia van a constituir la lluvia ácida, la cual ocasiona acidificación y eutrofización de las aguas, constituyendo, además, un aporte de nitrógeno reactivo no controlado a los suelos.

El óxido de nitrógeno con efecto invernadero es el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), con una capacidad de efecto invernadero 298 veces superior al  $\text{CO}_2$  (298 kg  $\text{CO}_2$  equivalen a 1 kg  $\text{N}_2\text{O}$ ). Este gas aparece en la gestión de deyecciones cuando se producen procesos de oxidación del amonio a nitrato (proceso de nitrificación) y también cuando este se reduce a di-nitrógeno ( $\text{N}_2$ ) en un proceso de desnitrificación incompleto, constituyendo las emisiones directas de  $\text{N}_2\text{O}$ . Las emisiones indirectas de  $\text{N}_2\text{O}$  son las debidas a oxidación en la atmósfera del amoniaco emitido, y se cuantifican usualmente como un 0,1 % de esta emisión.

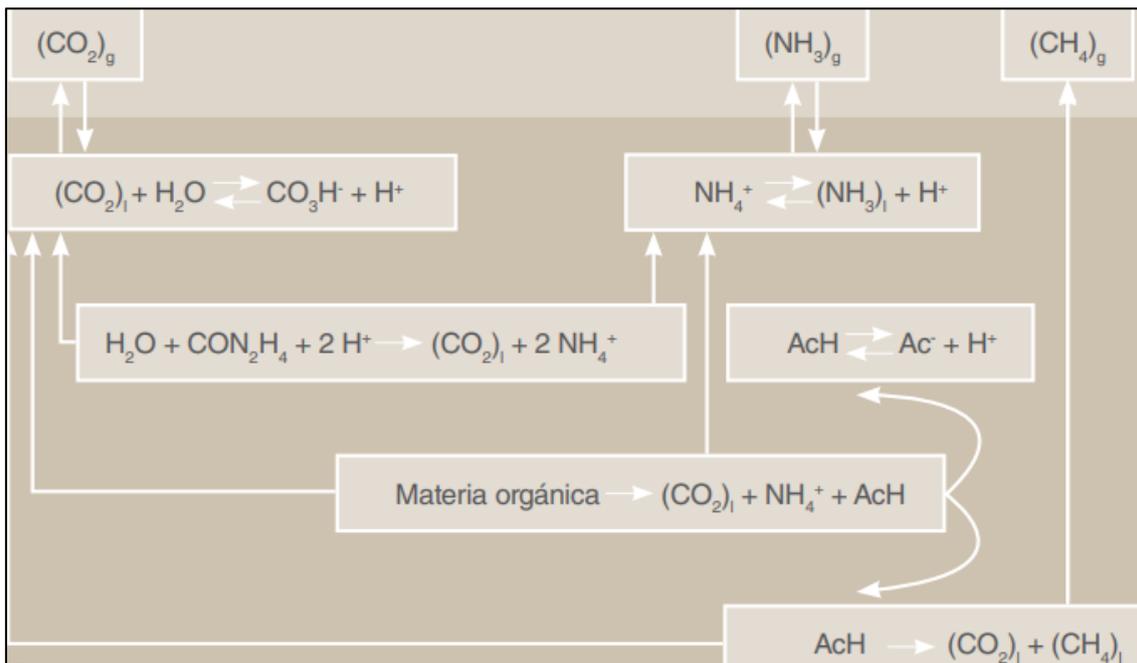


Figura 4: Reacciones que afectan a las emisiones de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) y metano ( $\text{CH}_4$ ). Fuente : (Flotats, 2022)

En el caso del metano ( $\text{CH}_4$ ) es otro gas de efecto invernadero consecuencia de la gestión de las deyecciones, con un efecto invernadero del orden de 25 veces superior al  $\text{CO}_2$  (25 kg  $\text{CO}_2$  equivale a 1 kg  $\text{CH}_4$ ). Este gas se produce mediante una descomposición biológica anaerobia de la materia orgánica del purín. Este fenómeno natural, que ocurre en balsas de purines y otros almacenes de compuestos orgánicos, es la base del proceso controlado de digestión anaerobia para la producción de biogás con usos energéticos (Flotats, 2022).

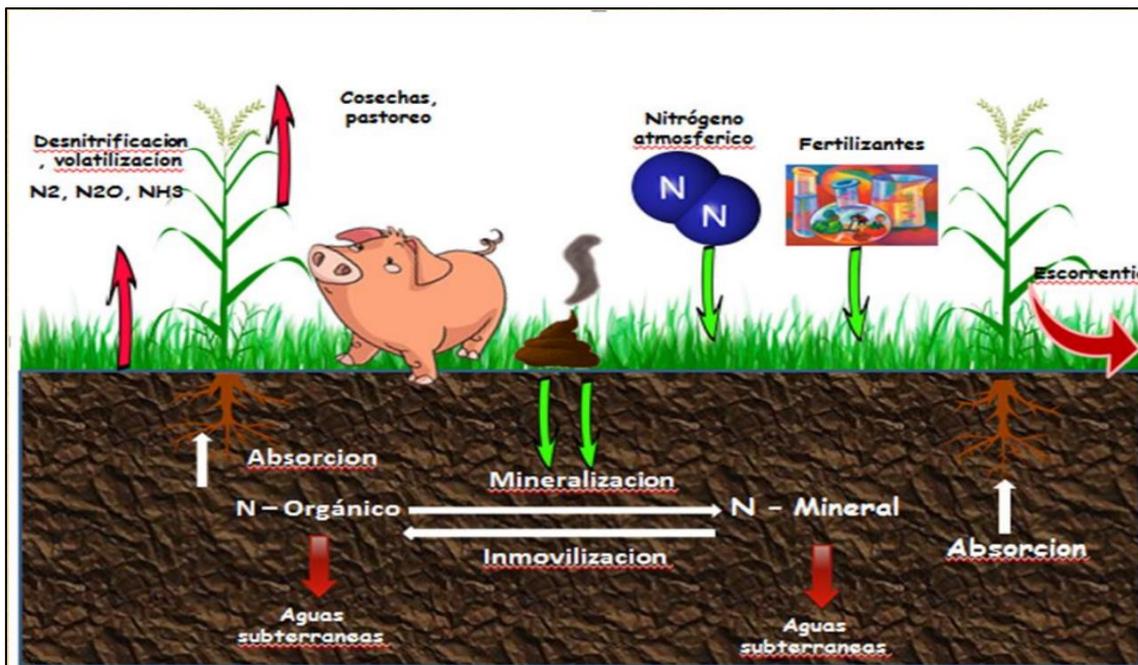


Figura 5: Procesos químicos del purín.

### 1.6. Poder fertilizante del purín

El poder fertilizante de un producto bien sea de origen inorgánico como orgánico se determina por los contenidos y disponibilidad para el cultivo de los nutrientes nitrógeno, fósforo y potasio (NPK), además, del aporte de materia orgánica en el caso de los fertilizantes de origen animal., En ocasiones los residuos orgánicos no han sido valorados adecuadamente, o ha sido una consideración generalmente secundaria como fertilizantes agrícolas. Por esta razón, Los principales problemas derivados del uso agrícola del purín son su utilización a dosis excesivas tanto agronómicas (Yagüe & Quílez, 2008) como medioambientales.

En el caso del N, los abonos de origen orgánico suelen presentar fundamentalmente tres fracciones variables según el origen:

- *N amoniacal*. Es absorbido por los cultivos directamente del suelo, pero genera toxicidad cuando se aplica como única fuente de nitrógeno para la mayoría de las plantas. El amonio es retenido por las arcillas y, por tanto, es una forma de nitrógeno poco móvil en el perfil del suelo.
- *N nítrico*. El nitrógeno amoniacal, comentado anteriormente, normalmente se transforma con bastante rapidez en N nítrico en suelos aireados (aeróbicos), con humedad y con un pH neutro-básico, mediante el proceso microbiológico de la nitrificación. En este caso el nitrato es una fuente nitrogenada que las plantas pueden absorber directamente del suelo y resulta menos tóxico para las plantas que el N amoniacal. El nitrato es móvil en el perfil del suelo y potencialmente lavable hacia capas más profundas y/o aguas subterráneas. Los estiércoles frescos y los que se acumulan o almacenan en condiciones anaeróbicas (como los purines) no contienen nitrato en su composición inicial (Alvaro et al., 2023).
- *N orgánico lábil*. Formado por moléculas orgánicas fácilmente degradables: ácido úrico, aminoácidos, péptidos, proteínas, etc. Los microorganismos del suelo pueden utilizar

estas moléculas obteniendo energía y generando mediante un proceso de mineralización, las formas minerales utilizables finalmente por las plantas. En la mineralización se obtiene primeramente amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y su producción depende de la temperatura, humedad del suelo y características de los materiales orgánicos. La orina de los animales contiene urea que se transforma en pocos días en N amoniacal a través de la enzima ureasa del suelo, por lo que generalmente se incluye este N en la fracción amoniacal.

- *N orgánico recalcitrante*. Formado por moléculas con N de más lenta liberación. Pueden tardar varios años en mineralizarse por lo que, no debe ser tenido en cuenta para la dosificación del abono en el primer año, pero sí en años sucesivos.

El purín cuenta con las siguientes características como fertilizante orgánico:

- 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.
- También 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.
- Cuenta con 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 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" (Yagüe & Quílez, 2008).
- Otro aspecto a tener en cuenta es si la granja es de cebo o de maternidad siendo estas dos unas explotaciones con diferente tipo de purines en cuanto al contenido de N, P y K del purín. En estos dos casos los valores de la explotación de cebo suelen ser mayores.

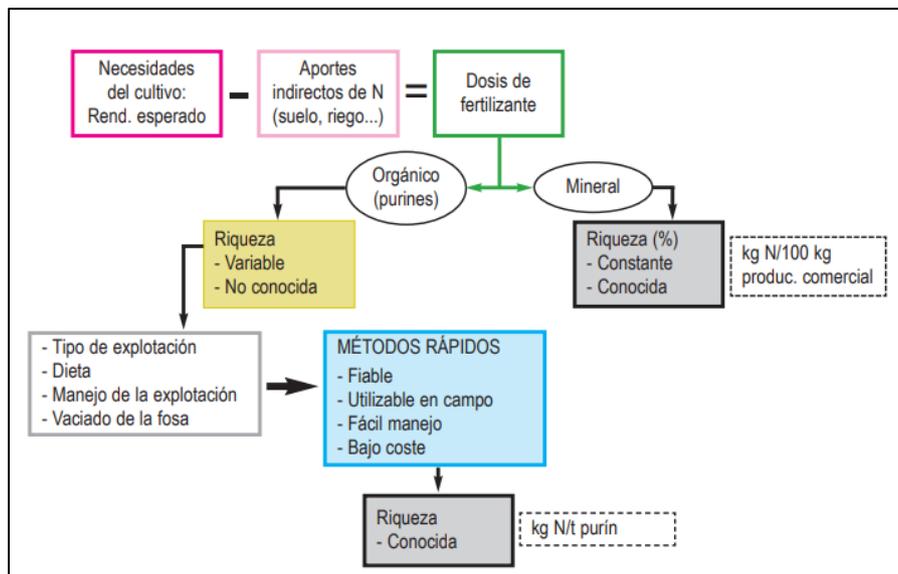


Figura 6: Factores que afectan a la dosis de fertilizante. Fuente(Yagüe & Quílez, 2008).

### 1.7. Características del Vitabox

El producto Vitabox, proporcionado por la empresa Vitaveris, es el producto objetivo de este experimento. Este producto se consigue a partir de la mezcla de los materiales que podemos ver

en la fotografía inferior en las dosis facilitadas por la empresa y dejándolo incubar durante 3 días antes de aportarlo al purín tal y como se describe en el apartado de material y métodos.



*Fotografía 1: Productos utilizados para la preparación del Vitabox.*

En la fotografía se puede observar de izquierda a derecha el carbón, el líquido y el polvo que suministra la empresa. Los productos que componen al Vitabox tienen las siguientes características (comunicación oral de la empresa Vitaveris):

- El carbón está inoculado con consorcios de hongos.
- El polvo es salvado que también está inoculado con una variedad amplia de microorganismos donde supuestamente hay más variedad que en el carbón.
- El líquido es un estimulante de la actividad microbiana con formas simples y complejas de carbono.

La empresa sugiere que su producto Vitabox es capaz de proporcionar un consorcio de microorganismos con capacidad nitrificante que disminuiría el amonio del purín, evitando la volatilización del mismo en forma de amoniaco (menos emisiones, menos olores...) y proporcionando más nitrógeno en forma de nitrato, que puede ser utilizado sin riesgo por los cultivos o ser desnitrificado hacia  $N_2$  completando el ciclo del nitrógeno. Además, sugieren que el aporte de Vitabox al purín proporciona una transformación en el purín que hace que resulte un fertilizante más completo que el purín sin Vitabox.

## **2. OBJETIVOS**

Los objetivos planteados para este trabajo son los siguientes:

- Estimar la efectividad del producto Vitabox sobre la nitrificación de amonio y sobre las emisiones de amoniaco en un purín bruto y filtrado.
- Determinar la evolución de nutrientes de los purines (bruto y filtrado) tras ser incubados con Vitabox durante 1 mes.
- Valorar el poder fertilizante de los purines incubados con Vitabox mediante la producción de biomasa y la medida de otros parámetros de interés en un cultivo de cebada y en un cultivo de trigo.

### 3. MATERIAL Y MÉTODOS

#### 3.1. Ensayo de incubaciones de purines con el producto Vitabox

Se realizó un ensayo de incubación en un invernadero de la finca del Sario para poder estudiar la evolución de nutrientes, pH y conductividad y la estimación de la nitrificación y la volatilización de amoníaco en purines con y sin aplicación del producto Vitabox.

Este ensayo se llevó a cabo mediante la incubación de dos purines con un mismo origen (cerdas madre) filtrado en granja y bruto con el producto Vitabox en envases de 1 litro. Se utilizaron estos dos tipos de purines debido a que en el proceso de filtración hay una pérdida de nitrógeno que hace que, aunque los purines son del mismo origen tienen distinta cantidad de nitrógeno por  $m^3$ . El purín de cerdas madre filtrado tiene un contenido de nitrógeno de  $1.7 \text{ kg N/ m}^3$  y el purín de cerdas madre sin filtrar tiene un contenido de nitrógeno de  $3 \text{ kg N/ m}^3$ .

Además, de las incubaciones de ambos purines con y sin Vitabox, se añadieron paralelamente a estos tratamientos un inhibidor de la nitrificación DMPP (3,4-Dimetilpirazol fosfato) con el fin de realizar una estimación de la nitrificación en los distintos tratamientos.

#### Tratamientos realizados:

Para cada tipo de purín, filtrado y bruto se ensayaron los siguientes tratamientos:

- Tratamiento control: Purín
- Tratamiento IN: Purín + IN(DMPP) dosis 1% de N
- Tratamiento Vitabox: Purín + Vitabox (dosis asignada por Vitaveris)
- Tratamiento Vitabox + IN: Purín + Vitabox (dosis asignada por Vitaveris) + IN(DMPP) dosis 1% de N

Por lo tanto, realizando 4 repeticiones de cada uno de los tratamientos, se obtiene un total de 32 envases necesarios para realizar el ensayo. Como se puede ver en la figura 7 (esquema) y en la fotografía 2 y 3 (ensayo real) por un lado se encontraban los 16 envases que van a llevar producto Vitabox y por otro los que no van a llevar el producto. Con esta separación evitamos posibles contaminaciones de unos tratamientos con otros.

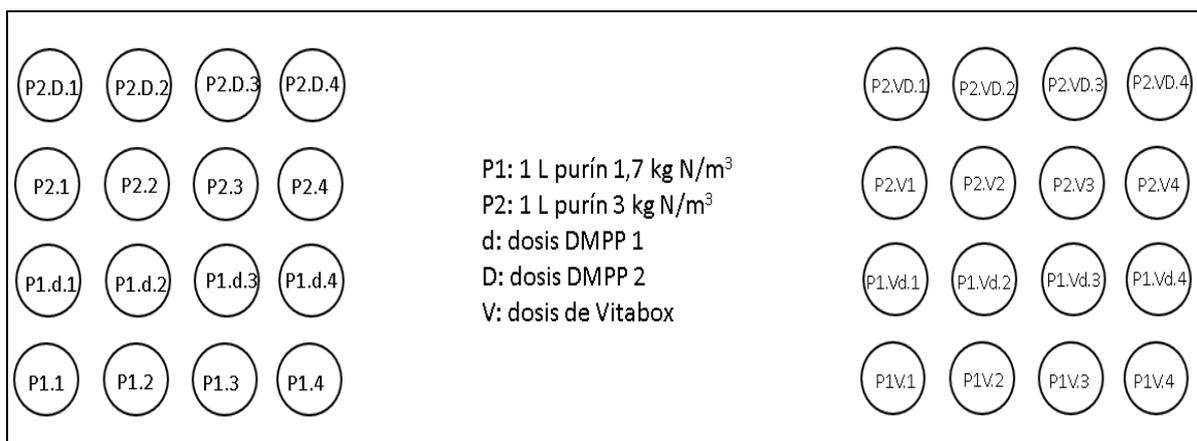


Figura 7: Planteamiento y asignación de cómo se identifica cada envase.



Fotografía 2: Disposición de los envases en el ensayo.



Fotografía 3: Disposición de los 32 envases en el ensayo de incubación.

Sobre los envases de incubación se colocaron unas mallas de sombreo para evitar un exceso de luz sobre los purines, pero siempre con ventilación adecuada simulando las condiciones de la balsa en la granja. El invernadero donde se realizó el ensayo está preparado para que las temperaturas no descieran más de 8°C y evitar que no se congele el purín, ya que las incubaciones se realizaron durante el mes de febrero.

Paralelamente, se colocaron 4 garrafas de 5 litros cada una, dos en un lado y dos en otro. En estas garrafas se incubaron 4 litros de purín (dos con purín filtrado y dos con purín bruto) y para cada purín se añadió a una de las garrafas Vitabox. Estos bidones se dejaron durante el tiempo de incubación (30 días) junto a los envases de incubación. Los bidones permanecieron abiertos al igual que los envases de incubación durante todo el periodo. El resultado de esta incubación en los bidones fue utilizado para la aplicación de los mismos en el ensayo de producción con trigo y cebada, además se analizó el contenido de K y P inicial y final de los productos de incubación de estos bidones para completar los análisis de contenido fertilizante de los mismos.

Preparación del inhibidor de la nitrificación DMPP y del producto Vitabox

Para la aplicación de tratamientos se prepararon varias disoluciones, entre ellas el inhibidor de la nitrificación, **DMPP** y el producto **Vitabox**, los cuales se van a aplicar en algunos de los tratamientos que se han comentado anteriormente. El DMPP se utilizó como un inhibidor específico del proceso de nitrificación ya que inhibe/disminuye de forma eficaz la conversión del nitrógeno amoniacal a nitrato. Se utilizó para que por comparativa con los tratamientos que no llevaban este inhibidor, valorar la actividad nitrificante en el purín con y sin Vitabox.

La dosis de DMPP utilizada fue aproximadamente la recomendada por el distribuidor, un 1 % de la cantidad de nitrógeno que contenía el purín, teniendo en cuenta que el purín filtrado tiene 1,7 y el purín sin filtrar 3 kg N/m<sup>3</sup>. Por lo que se prepararon dos soluciones de 150 ml cada una de la forma que se especifica abajo. Se utilizaron dos diferentes concentraciones del inhibidor, una de 2,55 g DMPP/150 ml para el purín filtrado y otra 4,5 g/150ml para el purín bruto, estas concentraciones se calcularon mediante las fórmulas descritas a continuación.

$$\begin{aligned}
 \text{Dosis DMPP purín filtrado} &= 1,7 \text{ kg } \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \times \frac{1}{100} = 0,017 \frac{\text{kg DMPP}}{1 \text{ ml}} \\
 &= 0,017 \frac{\text{g DMPP}}{\text{L}} = \frac{17\text{mg DMPP}}{\text{L}} \\
 &\frac{17\text{mg DMPP}}{\text{ml}} = \frac{2,550\text{g DMPP}}{150\text{ml}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Dosis DMPP purín no filtrado} &= 3 \text{ kg } \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \times \frac{1}{100} = 0,03 \frac{\text{kg DMPP}}{1 \text{ ml}} \\
 &= 0,03 \frac{\text{g DMPP}}{\text{L}} = \frac{30\text{mg DMPP}}{\text{L}} \\
 &\frac{30\text{mg DMPP}}{\text{ml}} = \frac{4,5\text{g DMPP}}{150\text{ml}}
 \end{aligned}$$



Fotografía 4: Inhibidores DMPP a diferentes concentraciones.

En el momento inicial y después de cada muestreo se añadió a los tratamientos que llevaban inhibidor 1 ml de las disoluciones, de esta forma garantizamos la inhibición de la nitrificación.

En el caso del producto Vitabox, el cual se aplicó a los tratamientos correspondientes se siguieron las pautas proporcionadas por Vitaveris. La preparación del producto se realizaba 3 días antes de los momentos en los que se va a echar al purín, en las proporciones siguientes y siempre según las pautas recomendadas por la empresa:

- 2% de carbón → 20 g/L de agua
- 1% de líquido Vitabox → 10 g/L de agua
- 0.5% de polvo → 5 g/L de agua

Como se puede ver en la fotografía 1 tenemos el carbón a la izquierda, el líquido en medio y a la derecha el polvo. Así pues, se añadió todos estos componentes junto a la cantidad de agua indicada en un tupper, se removió para que se mezcle todo mejor y finalmente se dejó durante 3 días antes de aplicarlo al purín con la tapa entreabierta, permitiendo así el paso del aire como podemos ver en la fotografía 5.

Una vez pasados los 3 días desde el día que se hace la mezcla, este producto se deberá añadir en diferentes concentraciones al purín en función del día del ensayo, se empezará con un volumen de 4% del producto el primer día y se irá bajando a 3% (día 3), 2% (día 7) y 1% en las aplicaciones sucesivas (día 14 y 21).



Fotografía 5: Tupper donde se deja preparado el producto Vitabox.

En los tratamientos que no llevaban DMPP y/o Vitabox se añadió agua en los mismos volúmenes para evitar diferencias de contenidos debidas a un efecto de dilución producido por la aplicación de los tratamientos.

### 3.1.1. Procedimiento de muestreo y medidas in situ

El procedimiento llevado a cabo en los **muestreos** fue el siguiente:

En primer lugar, se pesaban todos los envases para comprobar si la evaporación había sido muy significativa y se apuntaban los datos del peso para hacer correcciones en los contenidos determinados. Después, se procedía a remover las muestras ya que se suelen formar varias capas en el purín bruto especialmente y así se conseguía un producto más homogéneo donde se podían recoger mejor las muestras. Seguidamente, se extraían muestras de 10 ml de cada uno de los tratamientos, utilizando una pipeta automática, y se depositaban en tubos falcon de 12 ml para su posterior análisis. Una vez recogidas las muestras, se añadía el inhibidor de la

nitrificación DMPP y el producto Vitabox a los envases correspondientes y en sus cantidades adecuadas, también se añadía agua en los envases sin DMPP y/o sin Vitabox para intentar tener el mismo volumen en todos los tratamientos.

Después de añadir estos productos se medía el pH y la conductividad en el contenido de cada uno de los envases con un pHmetro (HANNA HI98190) y un conductímetro (CRISON 524) que podemos ver en las fotografías 6 y 7.

En el momento de medir el pH y la conductividad era importante empezar con las muestras que no contienen Vitabox para así intentar evitar posibles contaminaciones mediante los equipos de medida. En el caso de la conductividad se midió en mS y se realizó una corrección de peso. Los muestreos y toda la preparación que conllevan las incubaciones se realizaron a 0, 3, 7, 14, 22 y 30 días de incubación. En cada día de muestreo se siguió el mismo orden de los pasos para evitar variaciones en los resultados.



Fotografía 6: Peachímetro HANNA HI98190 utilizado en los muestreos.



Fotografía 7: Conductímetro CRISON 524 utilizado en los muestreos.

### 3.1.2. Preparación de las muestras de incubación para análisis y determinaciones realizadas sobre dichas muestras

A las muestras tomadas en los 6 muestreos realizados y de las 4 repeticiones de cada tratamiento se realizó un centrifugado para obtener un extracto limpio para su análisis iónico, aquí se buscó eliminar los elementos más gruesos de las muestras que quedaron en el sedimento y nos quedamos con el sobrenadante donde se realizaron las analíticas.

Se colocaron los tubos falcon con las muestras en la centrifugadora como se puede ver en la fotografía 8. Después de centrifugar durante 5 minutos a 4400 rpm (1623 g). De cada tubo, se recogió el sobrenadante y el sedimento se desechó. Se congelaron los sobrenadantes, para poder tener todas las muestras juntas y así poder analizarlas todas al mismo tiempo cuando se acabó el último muestreo.



Fotografía 8: Centrifugadora utilizada para el ensayo.

En las muestras de incubación que se obtuvieron en los distintos tiempos y tratamientos se analizó:

- El contenido iónico en las incubaciones, donde en los extractos de los purines obtenidos tras la centrifugación se midió el contenido de aniones y cationes en los distintos momentos de muestreo. Esta medida se realizó utilizando los sobrenadantes que se diluyeron 25/50 veces con agua destilada y se analizaron por cromatografía iónica en un cromatógrafo iónico 940 Professional IC Vario 2, Metroh. Para la determinación de los aniones, el cromatógrafo está dotado con una columna Metrosep A Supp7, 150/4.0 y para la determinación de cationes tiene una columna Metrosep C6, 150/4.0, además de un detector de conductividad. En la analítica se usó un método de gradiente isocrático específico para cationes con ácido nítrico 1,7 mM + ácido dipicolínico 1,7 mM como eluyente con un flujo de 0,9 mL/min, y otro para aniones con carbonato de sodio 3.6 mM como eluyente con flujo de 0,9 ml/min. Los iones detectados fueron los cationes amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), potasio ( $\text{K}^+$ ) y sodio ( $\text{Na}^+$ ); y los aniones nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) y cloruro ( $\text{Cl}^-$ ). Los datos se expresaron en mg/l.
- Determinación del contenido de N y C y composición isotópica del N y C inicial y final. En los extractos obtenidos en la incubación con los distintos tratamientos el primer y

último día de la incubación, se determinó el contenido de N y C y composición isotópica de N y C. El contenido de N y C (%; P/V) se determinó en el material líquido en la Unidad de Técnicas Instrumentales de Análisis (UTIA) del servicio de apoyo a la investigación de la Universidad de la Coruña (Galicia, España). Del extracto se tomaron 30 µL y se añadieron a un soporte sólido dentro de las cápsulas de estaño y fueron analizadas para la obtención del contenido de N y C total mediante la combustión de Dumas en un analizador elemental (Carlo Erba EA-1108 CHNS/O). Los gases resultantes de la combustión fueron detectados en función de su conductividad térmica. El analizador elemental está asociado a un espectrómetro de masas de relaciones isotópicas DELTA PLUS Finnigan MAT con sistema de doble entrada con una Interfase Conflo II, Finnigan MAT, lo que permitió el análisis de la relación isotópica del N y C (Lema Grille, 2022).

El  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  se define como la diferencia relativa de la relación isotópica ( $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ) ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ) entre una muestra dada ( $R_m$ ) y un estándar internacional ( $R_{st}$ ) (Tcherkez & Hodges, 2008) como se muestra en la siguiente fórmula:

$$\delta (\text{‰}) = \frac{R_m - R_{st}}{R_{st}} \times 1000$$

Las determinaciones del contenido de N y C y su composición isotópica inicial y final nos darán datos de importancia para verificar la actividad microbiana en general en las incubaciones y la estimación de las pérdidas gaseosas de N del sistema, en mayor grado de la volatilización de amonio.

### 3.1.3. Determinación del contenido de P y K en las incubaciones de los bidones aplicadas en el ensayo de producción.

En las incubaciones que se realizaron en los bidones de 5 litros con los dos purines ensayados con y sin Vitabox para ser aplicados en el ensayo de producción de cebada y trigo, se realizó una analítica para determinar el contenido de K y P en el momento inicial y final de la incubación para completar la caracterización fertilizante, definida por el contenido de estos elementos junto a las determinaciones de N (NPK). El P se expresa como  $\text{P}_2\text{O}_5$  y el potasio como  $\text{K}_2\text{O}$  en porcentaje sobre materia seca. Estas determinaciones se realizaron en los laboratorios Nasertic (Villava), obteniendo la materia seca mediante el secado de las muestras de purín y un posterior análisis del residuo seco por la técnica ICP (espectroscopía de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo).

## 3.2. Ensayo de producción y calidad

### 3.2.1. Descripción tratamientos

Con el fin de valorar el poder fertilizante de los purines, tanto del filtrado como del bruto, tratados o no con el producto Vitabox, se realizó un ensayo de producción con plantas de cebada y trigo.

En el ensayo de producción se va a tratar de estudiar cómo van a afectar los diferentes tipos de purín (que se han obtenido a los 30 días de incubación en las 4 garrafas de 5 litros) en plantas de trigo y cebada. Habrá que comprobar si el producto Vitabox mejora el poder fertilizante del purín y si mejora el crecimiento y las características de las plantas. Se han elegido estos cultivos ya que son cultivos extensivos de gran superficie representativa de Navarra y de zonas agronómicas generalmente próximos a las granjas de porcino de Navarra. Los cereales en general y los de invierno en particular (trigo, cebada) representan una amplia superficie para la

aplicación de purines y no dan lugar a problemas sanitarios (patógenos), ya que el producto consumible, el grano, se produce con un amplio espacio de tiempo entre el aporte orgánico y la cosecha.

Las plantas utilizadas para este experimento se pusieron a germinar en bandejas con sustrato inerte de perlita:vermiculita (1:2) humedecida, en un fitotrón durante 10 días, hasta que alcanzaron la fase Z1.1 que representa el estado morfológico en la escala Zadoks para ambos cultivos.

Una vez obtenidas las plántulas de trigo y cebada, estas se trasplantaron a macetas de 1 L de capacidad con sustrato inerte de perlita: vermiculita en proporción 1.2. Los tratamientos que se ensayaron fueron en función de la dosis de purín propuestas para el purín filtrado incubado con y sin Vitabox y para el purín bruto incubado con y sin Vitabox. Las dosis estudiadas fueron: 50 kg N/ha, 100 kg N/ha y 150 kg N/ha de cada producto resultante de las incubaciones teniendo en cuenta el N inicial del purín.

Al partir de dos tipos de purín (purín filtrado y bruto) con cantidades de N diferente, se tuvo que calcular los mililitros que había que echar en cada maceta para obtener las dosis ensayadas, teniendo en cuenta la superficie de la maceta de ensayo (0,0153m<sup>2</sup>). El volumen aplicado por maceta de los productos de incubación los podemos ver en la tabla 1.

Tabla 1: ml necesarios de purín para cada dosis de kg de N.

Dosis (Kg N/ha)	P.filtrado(ml)	P.bruto(ml)	P.filtrado+Vitabox(ml)	P.bruto+Vitabox(ml)
<b>50</b>	45	25	45	25
<b>100</b>	90	51	90	51
<b>150</b>	135	75	135	75

Los tratamientos ensayados fueron 4 productos de incubación (purín filtrado, purín bruto, purín filtrado + Vitabox y purín bruto + Vitabox) por 3 dosis 50, 100 y 150 kg N/ha, por 5 repeticiones. Los tratamientos se aplicaron a las macetas justo antes del trasplante de las plantas. Al final, el ensayo estaba compuesto por 120 macetas de las cuales la mitad fueron de cebada y la otra mitad de trigo.

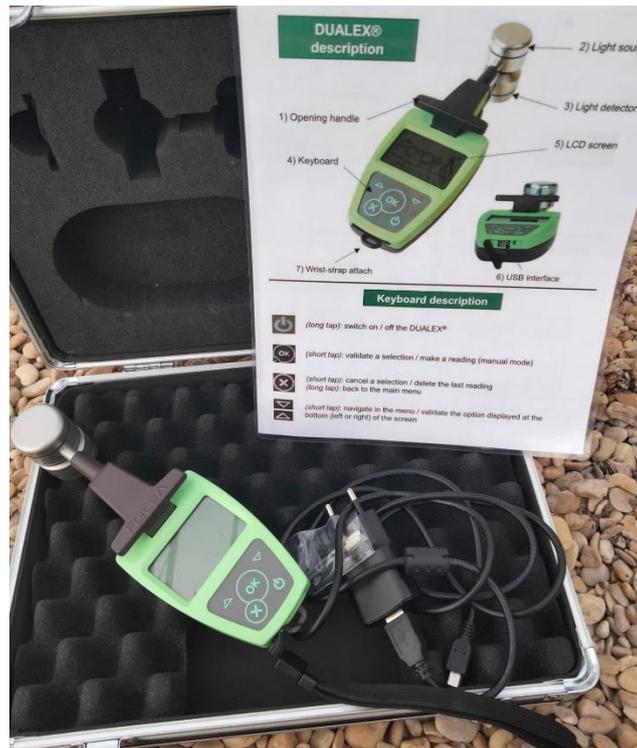
Las macetas se colocaron para su crecimiento bajo condiciones controladas, en una mesa de un invernadero de cristal cada una con un gotero programado para riegos diarios de 3 minutos, y a un caudal de agua de 3 L/hora. Las plantas crecieron durante 6 semanas.



Fotografía 9: Macetas del ensayo de producción.

### 3.2.2. Medidas DUALEX

Previamente a la cosecha de las plantas (6 semanas de crecimiento en invernadero), se realizaron medidas con un equipo DUALEX SCIENTIFIC+TM sobre cada planta de forma individual en la hoja más joven totalmente expandida. Los parámetros que determina este equipo son: contenido de clorofila superficial y NBI que dan una idea del estatus nitrogenado de las plantas. El DUALEX es un sensor portátil de medida in-situ que puede determinar con precisión y de forma instantánea, por una parte, el contenido superficial de la clorofila expresada en  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ , gracias a una calibración química realizada por FORCE-A, con rango de medida de  $5\text{-}80 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ , y por otra parte, el índice NBI (Nitrogen Balance Index). El método de medición del equipo se basa en la absorbancia en UV de la epidermis foliar por doble excitación de la fluorescencia de clorofila (Goulas et al., 2004). Las unidades de la clorofila vienen pre-calibradas de fábrica.



Fotografía 10: DUALEX SCIENTIFIC+TM

### 3.2.3. Producción de biomasa

Una vez se tomaron las medidas DUALEX, se procedió a la cosecha de la parte aérea de las plantas, las cuales fueron cortadas e introducidas en sobres numerados y previamente pesados. Posterior se pesaron las plantas junto a los sobres en el laboratorio. Cuando se pesaron todas las partes aéreas de cada planta con sus respectivos sobres con el fin de obtener el PF producido en la parte aérea de cada planta, los sobres con las muestras se introducen en una estufa de aire forzado durante unas 48 horas. Así se consigue material vegetal seco que se volverá a pesar en ese estado. Después habrá que restar el peso de los sobres a cada muestra para obtener el peso fresco y peso seco de cada muestra.

### 3.3. Estadística

El tratamiento estadístico de los datos consistió en análisis ANOVA de una vía con un post hoc Duncan con probabilidad de  $p < 0,05$  para los parámetros de evolución de pH, conductividad e iones entre tratamientos, en cada momento de muestreo y ANOVA de dos vías, con análisis de efecto del inhibidor de la nitrificación y del producto Vitabox en cada tipo de purín sobre los contenidos de nitrógeno y carbono orgánico y composición isotópica y ANOVA de una vía en producción y parámetros de calidad en dos sentidos uno comparando dentro de una misma dosis de cada purín con y sin Vitabox y otro comparando para cada tratamiento de purín las diferentes dosis utilizadas.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

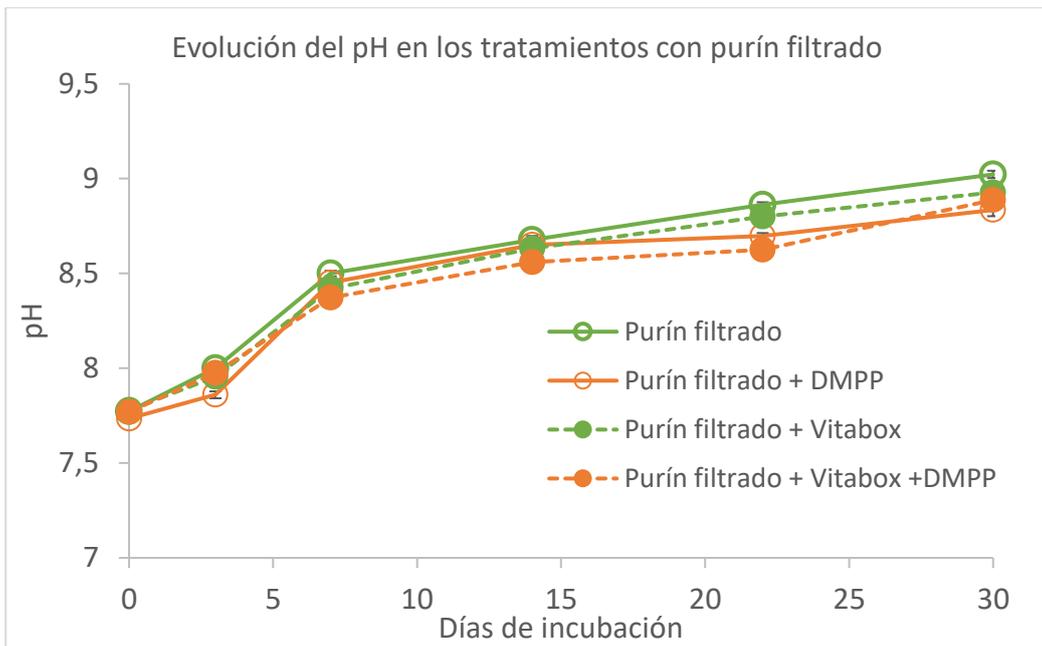
### 4.1. Experimento de incubación de los purines

#### 4.1.1. Evolución de pH y conductividad en los purines

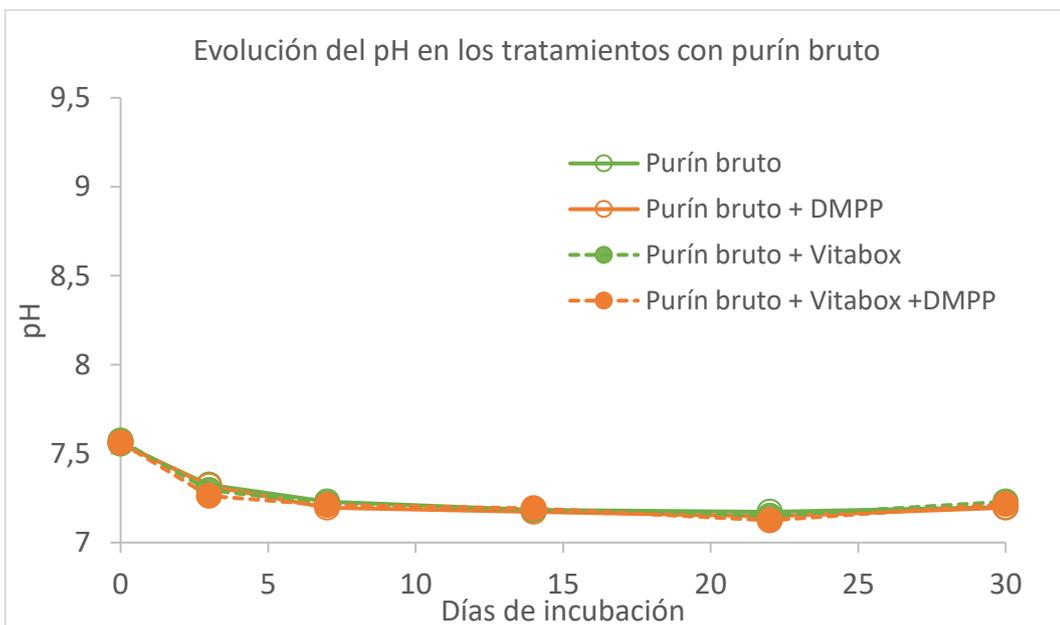
Se analizó el pH y la conductividad en cada uno de los tratamientos durante los 30 días de incubación en los momentos de muestreo. Los datos que se obtuvieron se representan en la gráfica 1 y 2 para los pH de purín filtrado y bruto respectivamente y las gráficas 3 y 4 para la conductividad de purín filtrado y bruto igualmente, con los distintos tratamientos.

Como se puede observar en la gráfica 1, tenemos una evolución del pH en los 4 diferentes tratamientos del purín filtrado, el cual tiene un menor contenido de nitrógeno que el bruto. Durante la incubación, ha habido un incremento del pH a lo largo de los días de incubación, en torno a 1 punto entre el momento inicial y final en todos los tratamientos y sin diferencias significativas entre ellos. Por lo que se puede deducir que el producto Vitabox no altera el pH del purín. Este incremento observado en todos los tratamientos entre el momento inicial y final, conlleva tener un pH más básico en las incubaciones y por lo tanto favorecería las emisiones amoniacales, ya que el pH del medio afecta a la dinámica del nitrógeno amoniacal, desplazando el equilibrio químico de este a la forma ionizada soluble ( $\text{NH}_4^+$ ) cuando el pH es ácido, y hacia la forma no ionizada, volátil ( $\text{NH}_3$ ), cuando el pH es básico (Flotats, 2022). Los valores de pH no son muy variables en cuanto al día de incubación entre los diferentes tratamientos. No se aprecia tampoco una variación significativa con los tratamientos que contienen el inhibidor DMPP.

En la gráfica 2 se observa la evolución del pH en los 4 diferentes tratamientos del purín bruto el cual tiene un mayor contenido de nitrógeno que el filtrado. En este caso, y al contrario de lo que ocurrió con el purín filtrado, el pH tendió a disminuir. Los valores de pH oscilaron en este caso entre 7,5 y 7, valores que están en torno a la neutralidad. No hay una variación significativa en cuanto a los tratamientos por lo que se puede decir que el producto Vitabox no afecta al pH en el purín bruto tampoco. En cuanto a los tratamientos con inhibidores tampoco se encuentran variaciones significativas.



Gráfica 1: Evolución del pH en los tratamientos con purín filtrado, los datos representan la media  $\pm$  error estándar,  $n=4$ . La estadística realizada para este parámetro se encuentra en el ANEXO 1.

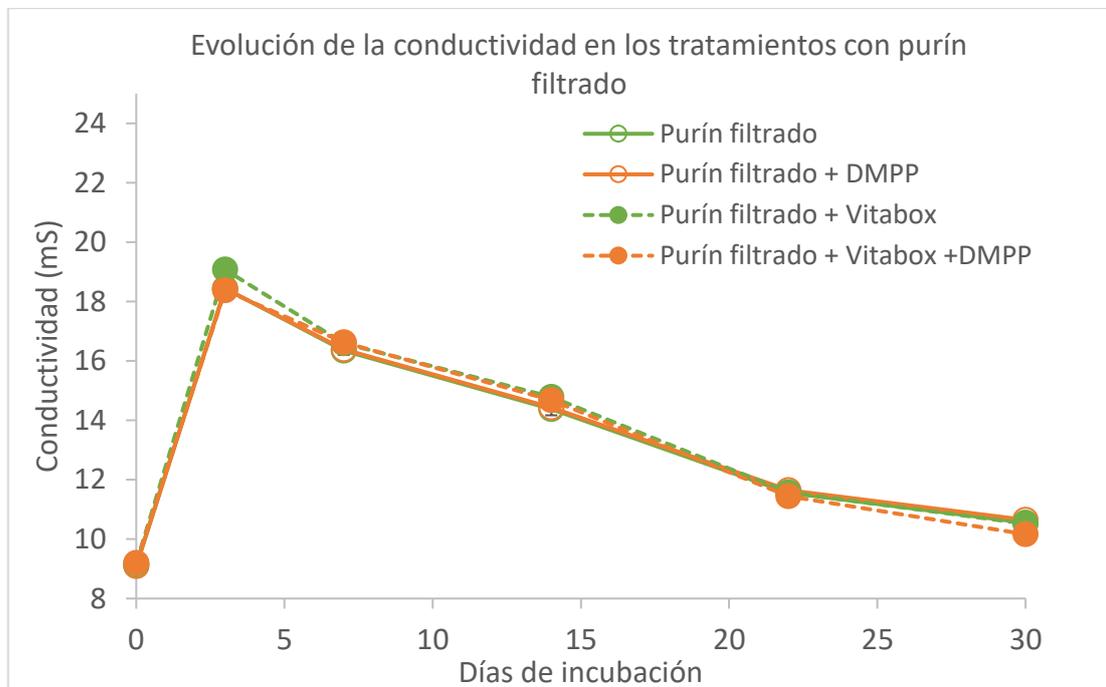


Gráfica 2: Evolución del pH en los tratamientos con purín bruto, los datos representan la media  $\pm$  error estándar,  $n=4$ . La estadística realizada para este parámetro se encuentra en el ANEXO 1.

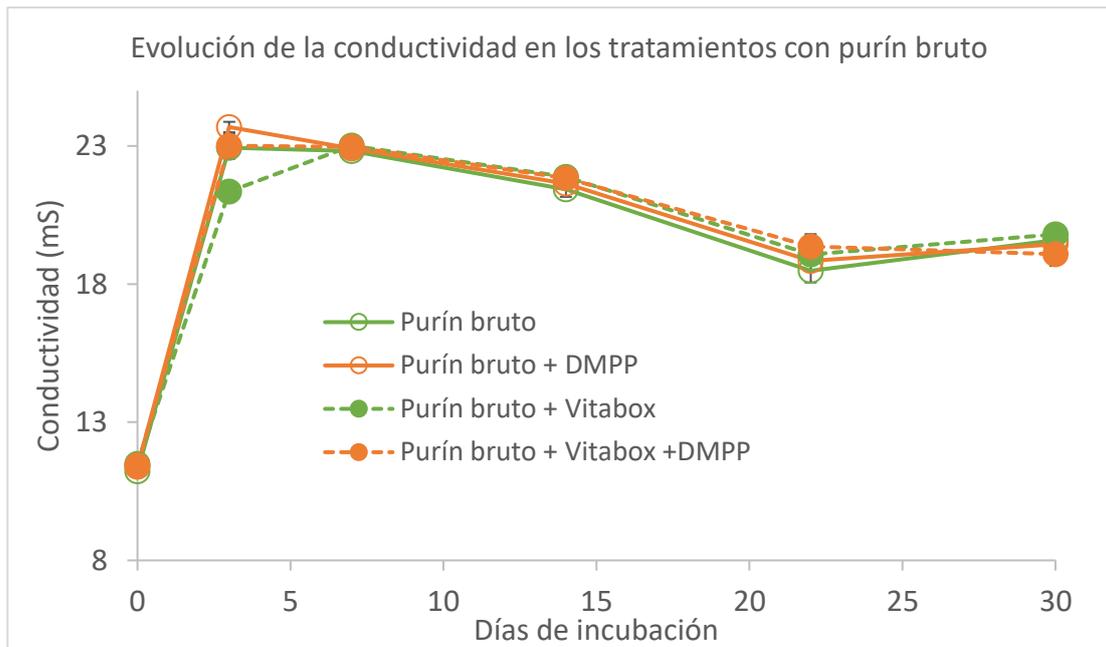
En las gráficas 3 y 4 se puede observar la evolución de la conductividad en los distintos tratamientos para el purín filtrado y bruto respectivamente. Se observa que para ambos casos no hay diferencias significativas entre tratamientos o lo que es lo mismo ni la presencia de Vitabox, ni del inhibidor de la nitrificación, afectaron a este parámetro ni en el purín filtrado ni en el bruto. Lo que si se observó fue un incremento significativo de la conductividad entre el día 0 al día 3 y luego un descenso gradual hasta el final del ensayo para ambos purines. Esta

observación podría estar relacionada con una mineralización del nitrógeno rápida en los primeros días con incrementos de nitrógeno mineral de purín y un descenso de dicha disponibilidad debido a pérdidas graduales del mismo en el proceso de incubación. Esta idea se apoya en el resultado obtenido al comparar la conductividad de los distintos tratamientos entre el purín filtrado que presentó menores valores de conductividad que el purín bruto en todos los momentos, probablemente debido a una menor carga de N orgánico y por tanto de una menor mineralización del mismo.

La medida de conductividad en un purín es un sistema rápido y económico para conocer el contenido de nitrógeno y potasio disponible para un cultivo antes de su aplicación al campo Moral et al. (2005). Estudios como los de Moral et al. (2005) entre otros, demuestran que hay una relación directa entre la conductividad eléctrica (CE) y el contenido de nitrógeno y potasio en los purines. También, está relacionado con la dieta de la granja y se ve afectada por las sales y el contenido en proteína del pienso ingerido como describe Moral et al. (2005).



Gráfica 3: Evolución de la conductividad en los tratamientos con purín filtrado, los datos representan la media  $\pm$  error estándar,  $n=4$ . La estadística realizada para este parámetro se encuentra en el ANEXO 1.



Gráfica 4: Evolución de la conductividad en los tratamientos con purín bruto, los datos representan la media  $\pm$  error estándar,  $n=4$ . La estadística realizada para este parámetro se encuentra en el ANEXO 1.

#### 4.1.2. Evolución de aniones y cationes de los purines

Los resultados obtenidos de la determinación del contenido iónico en purines en el extracto conseguido por centrifugación se muestran en las siguientes figuras. Los iones detectados fueron los cationes amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), potasio ( $\text{K}^+$ ) y sodio ( $\text{Na}^+$ ); y los aniones, nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) y cloruro ( $\text{Cl}^-$ ). Los contenidos de estos iones se han representado gráficamente para poder estudiar su evolución a lo largo de las incubaciones de purines con los diferentes tratamientos.

Es muy destacable que, aunque el contenido nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) en este estudio era muy importante ya que, su presencia en los distintos tratamientos nos habría dado una idea de en qué purín se estaba dando una mayor tasa de nitrificación, este anión no fue detectado o se detectó por debajo de los límites de detección del equipo utilizado para su determinación.

Los resultados obtenidos del análisis iónico en el tiempo de las incubaciones de los distintos tratamientos de los purines fueron:

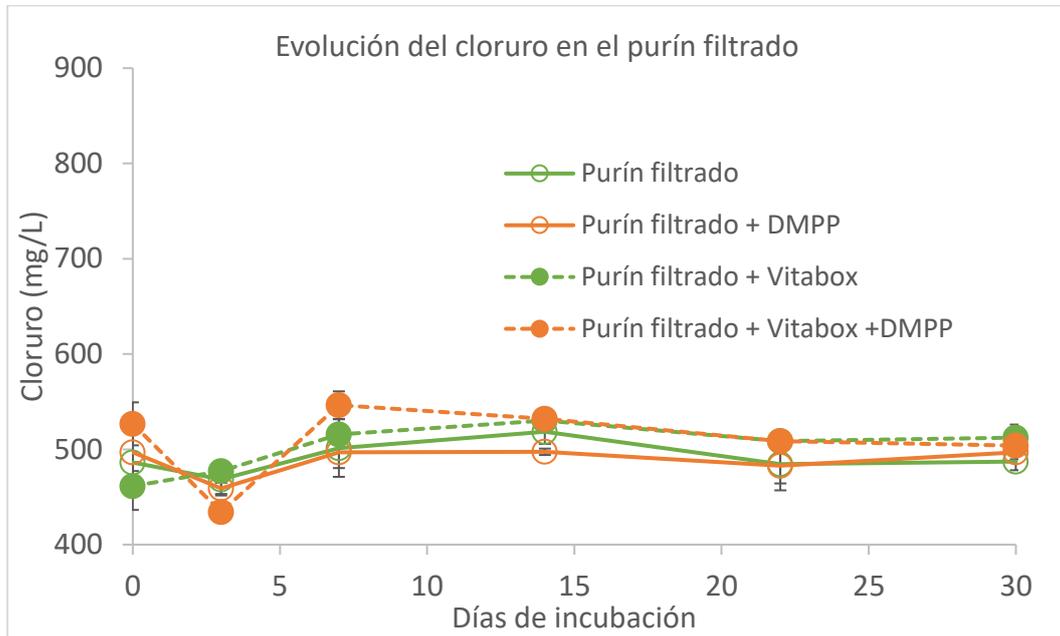
##### - Cloruro

Las gráficas y su estadística correspondiente muestran pocas diferencias significativas entre tratamientos en el contenido de cloruro para cada uno de los purines, aunque en algún momento, los valores de cloruro de los tratamientos con Vitabox son algo mayores a los que no lo tienen. En general, todos los tratamientos tienden a ser constantes a partir del día 7 de incubación.

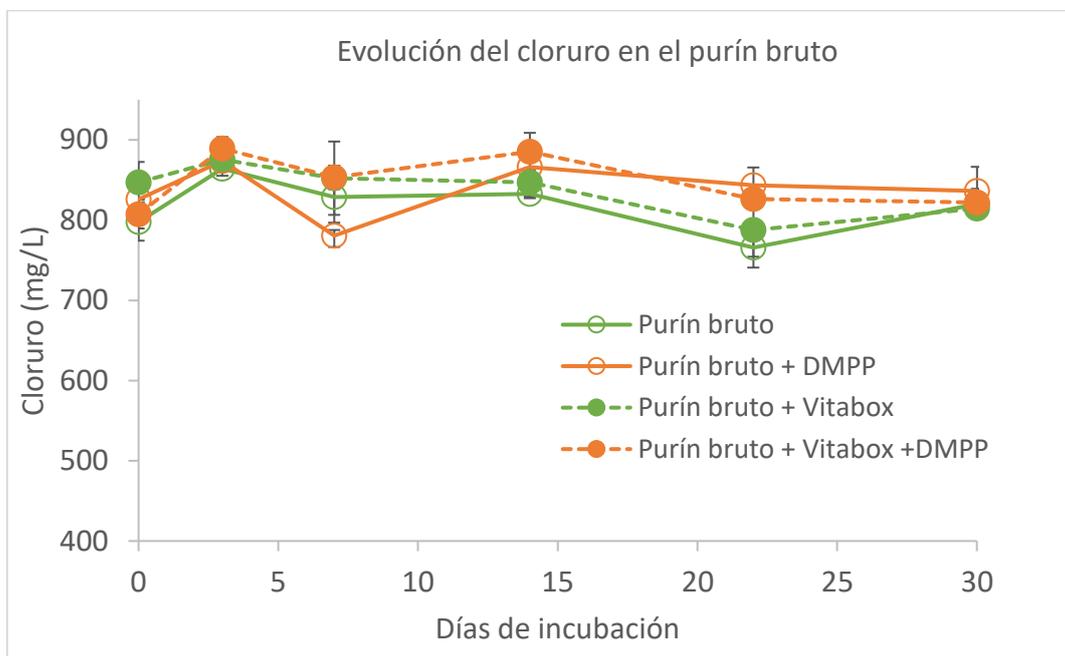
El origen de este elemento en el purín es porque se suele añadir al pienso en forma de cloruro sódico, y es eliminado por los cerdos a través de la orina (Lobera et al., 1998) y probablemente su origen esté en el cloro presente en el agua de lavado.

En el caso del purín bruto, el cloruro muestra una evolución igual de constante que el purín filtrado, pero con valores mayores a los del purín filtrado. Probablemente el proceso de filtrado hizo que disminuyesen los contenidos de este elemento en el purín. Está descrito que, después

de la separación de fases, el 25% del cloro del purín va a la fracción sólida y el 75% a la fracción líquida, posteriormente, en esta última fracción, y tras un período de almacenaje y oxidación, los valores de ion cloro se reducen un 30% en peso en la fracción líquida (Lobera et al., 1998).



Gráfica 5: Evolución del cloruro en las incubaciones de purín filtrado con los distintos tratamientos, los datos representan la media  $\pm$  error estándar,  $n=4$ . La estadística realizada para este parámetro se encuentra en el ANEXO 1.



Gráfica 6: Evolución del cloruro en las incubaciones de purín bruto con los distintos tratamientos, los datos representan la media  $\pm$  error estándar,  $n=4$ . La estadística realizada para este parámetro se encuentra en el ANEXO 1.

- **Nitrato**

Como hemos comentado al principio de este epígrafe, el nitrato no se detectó en ninguno de los tratamientos estudiados en este trabajo. Uno de los objetivos del mismo era detectar la presencia de nitrato producto de la nitrificación del amonio presente en el purín. El nitrógeno

en los purines de porcino procede generalmente del nitrógeno orgánico de las proteínas y aminoácidos que no se han asimilado y del nitrógeno mineral, especialmente en forma de urea en la orina. Esta urea se descompone rápidamente en los purines durante las primeras horas y se convierte nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ). La forma ionizada del nitrógeno amoniacal no es volátil, pero está en equilibrio en el medio líquido con el amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), que es un gas y por tanto escapará hacia la atmosfera tal y como describe Flotats et al., 2021. El producto Vitabox pretende utilizarse con el fin de aportar microorganismos que incrementen la biomasa nitrificante y por tanto la transformación de amonio en nitrato, eliminando malos olores y disminuyendo las no deseadas altas tasas de volatilización de estos sistemas. Sin embargo, nuestros datos muestran que no se produce nitrato en ninguno de los tratamientos, indicando que la nitrificación no es detectable significativamente ni en los purines solos ni en los purines con el producto Vitabox. Los tratamientos con DMPP se plantearon para determinar si la nitrificación era mayor o menor en los purines con el Vitabox, ya que está descrito la eficiencia del DMPP como un potente inhibidor de la nitrificación (Pasda et al., 2001, Zhou et al., 2023), sin embargo, la no presencia de nitrato en las incubaciones muestra una ausencia total de nitrificación en todos los tratamientos.

#### - **Fosfato**

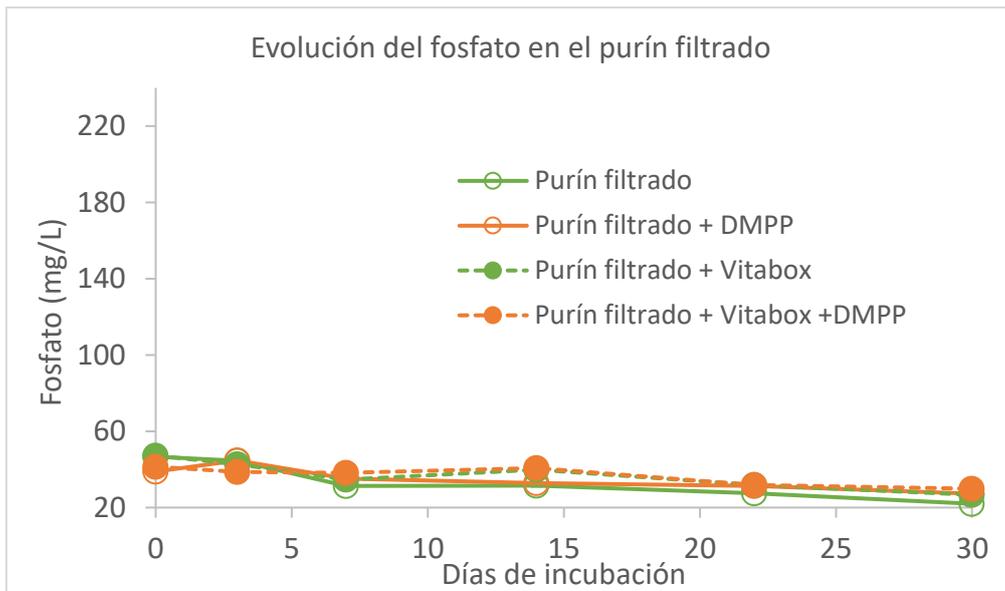
Las gráficas 7 y 8 muestran la evolución del fosfato en las incubaciones de purín filtrado y bruto respectivamente, con los diferentes tratamientos, durante los 30 días de duración del ensayo.

En el caso del purín filtrado, se observa un ligero descenso del contenido de fosfato a lo largo del tiempo en los 4 tratamiento. Se puede apreciar ligeramente que a partir del día 14 hay algún cambio significativo, siendo mayores los valores de fosfato en los tratamientos con Vitabox. De forma que parece indicar que el producto estudiado mejora la disponibilidad de fósforo en este purín.

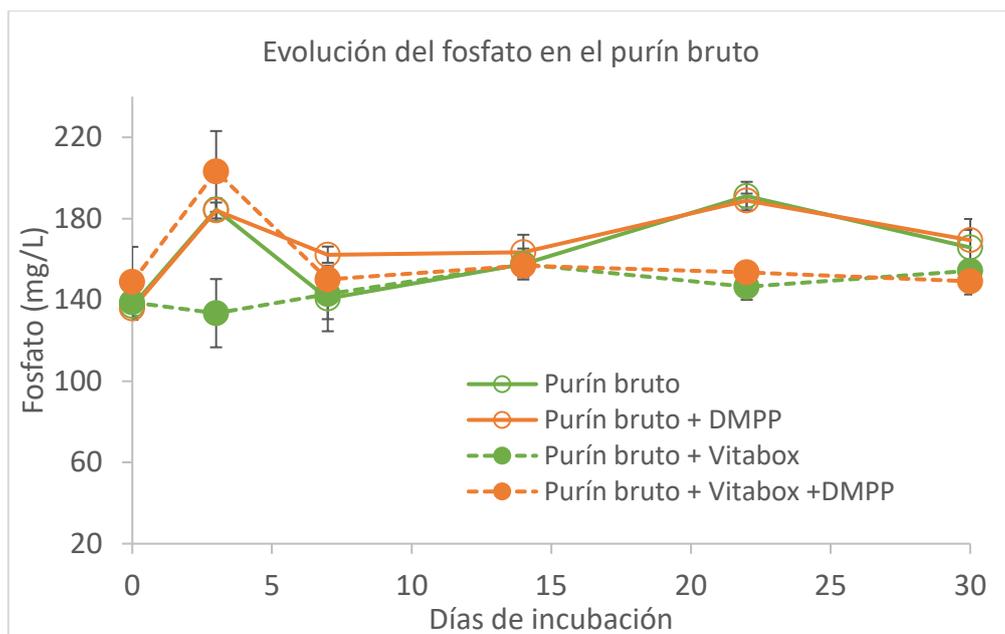
Por el contrario, en el caso del purín bruto, los valores son en general más altos e irregulares que en el purín filtrado, probablemente debido a la heterogeneidad del purín bruto, y en este caso los contenidos de fosfato son mayores en los tratamientos sin Vitabox a partir del día 14.

Las cantidades de fósforo en forma de fosfato soluble aportadas por el purín son bastante importantes, ya que se excreta del 60 al 70 % del ingerido, y se puede presentar de dos formas diferentes, en sales orgánicas como la Fitina y sales inorgánicas solubles (Lobera et al., 1998). Además, el contenido de fosforo se ve afectado por la composición del pienso consumido en la granja.

El fósforo es un elemento importante a nivel de calidad nutricional para las plantas, ya que junto con el N y el K son los tres elementos característicos que definen las cualidades de un compuesto fertilizante.



Gráfica 7: Evolución del fosfato en las incubaciones de purín filtrado con los distintos tratamientos, los datos representan la media  $\pm$  error estándar,  $n=4$ . La estadística realizada para este parámetro se encuentra en el ANEXO 1.



Gráfica 8: Evolución del fosfato en las incubaciones de purín bruto con los distintos tratamientos, los datos representan la media  $\pm$  error estándar,  $n=4$ . La estadística realizada para este parámetro se encuentra en el ANEXO 1.

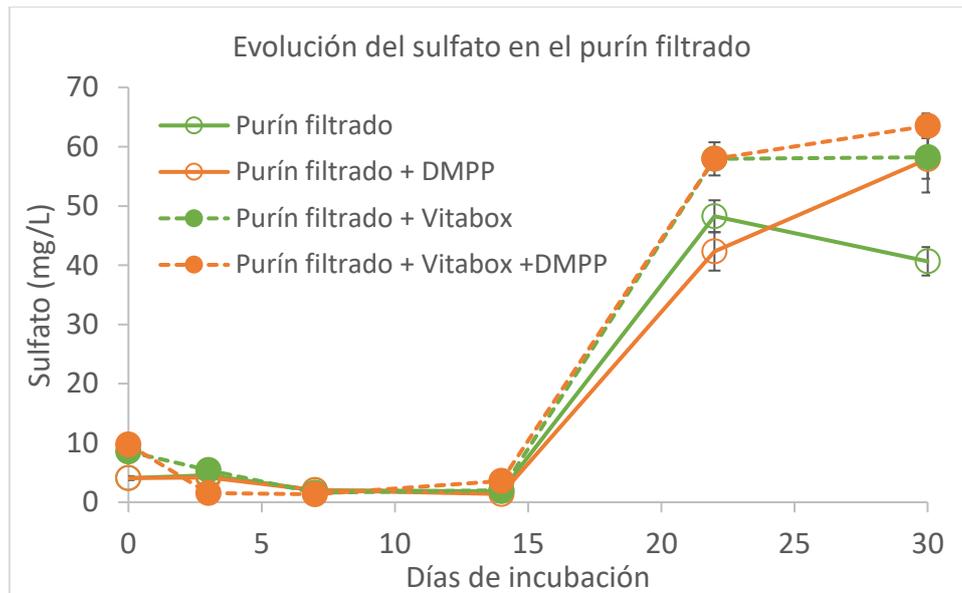
- **Sulfato**

La evolución del sulfato en las incubaciones de purín filtrado y bruto con sus diferentes tratamientos cada uno durante los 30 días de duración del ensayo se presentan en las gráficas 9 y 10.

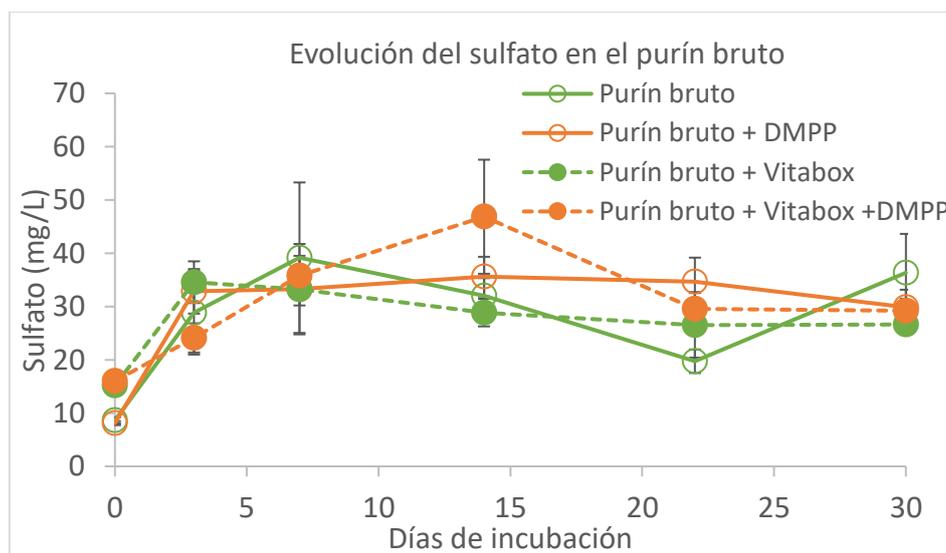
En el purín filtrado, el sulfato representa valores muy bajos hasta el día 14 de incubación, donde se produce un aumento de este anión en todos los tratamientos, de forma que indica que hasta ese momento el azufre se encontraba de alguna manera orgánica, no mineral, en el purín, esto puede ser el resultado de la transformación del azufre contenido en algunos aminoácidos/proteínas (Flotats, 2022). Por otra parte, de forma general no se detectaron

diferencias muy significativas entre los tratamientos según el estudio estadístico realizado, a excepción de a día 22 donde los tratamientos con Vitabox tenían mayores contenidos que los tratamientos sin Vitabox.

En el caso del purín bruto, los valores de sulfato en los momentos iniciales fueron mayores que el purín filtrado, y conforme avanza la incubación no experimentaron el incremento que observamos que se produjo en el purín filtrado, probablemente por una tasa de liberación de sulfato más continuada en el tiempo. Nuevamente, los valores entre tratamientos no mostraron diferencias significativo en ninguno de los días del ensayo.



Gráfica 9: Evolución del sulfato en las incubaciones de purín filtrado con los distintos tratamientos, los datos representan la media  $\pm$  error estándar,  $n=4$ . La estadística realizada para este parámetro se encuentra en el ANEXO 1.



Gráfica 10: Evolución del sulfato en las incubaciones de purín bruto con los distintos tratamientos, los datos representan la media  $\pm$  error estándar,  $n=4$ . La estadística realizada para este parámetro se encuentra en el ANEXO 1.

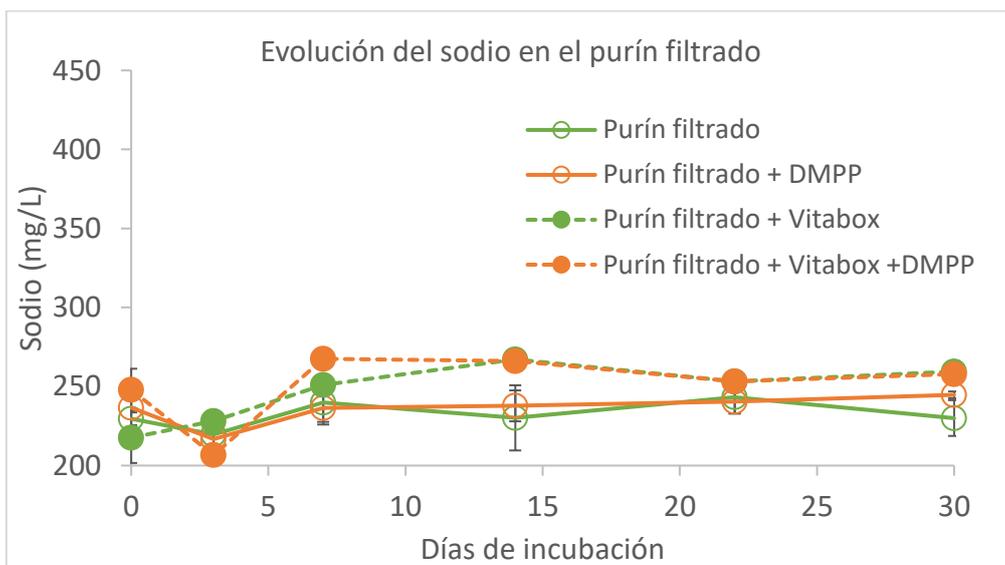
- **Sodio**

En las gráficas 11 y 12, se presentan los resultados de la evolución del catión sodio en las incubaciones de purín filtrado y bruto con sus diferentes tratamientos durante los 30 días de duración del ensayo.

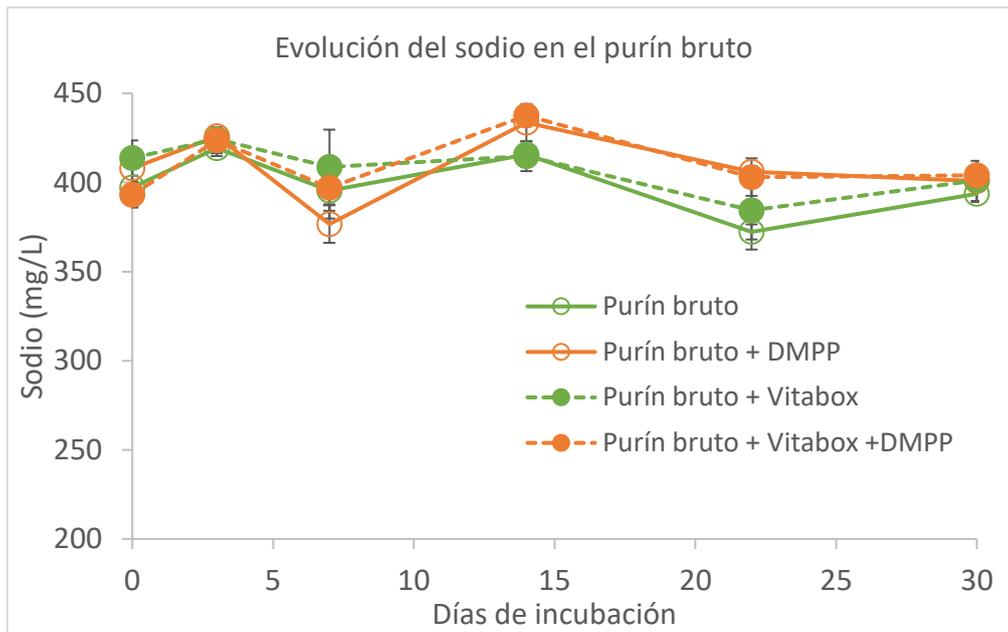
En el caso del sodio es interesante comentar que la mayoría de las plantas no lo necesitan como un elemento esencial para completar su ciclo de vida (Subbarao et al., 2003). Además, el sodio en altas concentraciones puede provocar problemas de floculación y disminución de la permeabilidad en el suelo.

Los resultados mostraron que en el purín filtrado a partir del día 7 se aprecian cambios significativos en el contenido de sodio, mostrándose que los tratamientos con Vitabox tenían mayores contenidos de este elemento que los tratamientos sin Vitabox. Este resultado muestra claramente que el producto objeto de estudio añade o hace más soluble el sodio en el purín filtrado. Los incrementos de sodio en el purín no son deseados ya que pueden competir con el potasio y el fósforo a la hora de ser absorbidos por los cultivos (Barceló C., 1995).

En el caso del purín bruto, los resultados sobre los contenidos de sodio son mayores que en el purín filtrado como ocurre con el resto de iones analizados debido a la naturaleza de este tipo de purín. En este caso no se aprecian unas diferencias tan claras como en el purín filtrado con respecto al incremento de los niveles de sodio cuando se añade Vitabox a la incubación.



Gráfica 11: Evolución del sodio en las incubaciones de purín filtrado con los distintos tratamientos, los datos representan la media  $\pm$  error estándar,  $n=4$ . La estadística realizada para este parámetro se encuentra en el ANEXO 1.



Gráfica 12: Evolución del sodio en las incubaciones de purín bruto con los distintos tratamientos, los datos representan la media  $\pm$  error estándar,  $n=4$ . La estadística realizada para este parámetro se encuentra en el ANEXO 1.

#### - Amonio

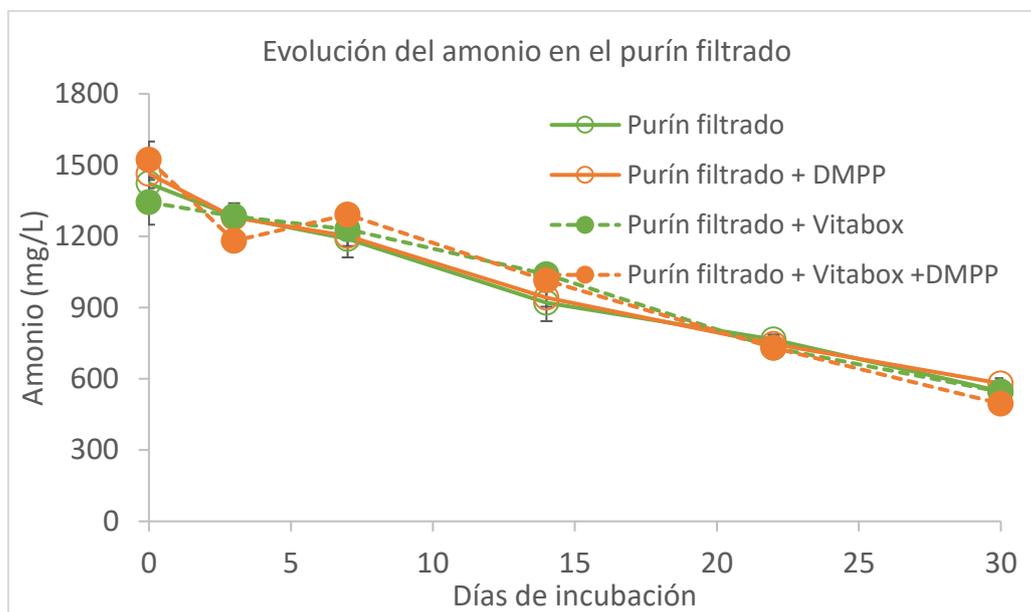
La evolución de amonio que se presenta en las gráficas 13 y 14 y que corresponden a los tratamientos aplicados al purín filtrado y bruto respectivamente, son de sumo interés en este trabajo.

En la gráfica 13 se observa un descenso gradual del amonio en todos los tratamientos del purín filtrado. El contenido de nitrógeno en los purines puede perderse a través de diferentes procesos: volatilización de amonio, lixiviación y desnitrificación de nitrato. Obviando el segundo proceso en este estudio, ya que por el diseño experimental y simulando una balsa de purín estanca no puede haber pérdidas por lixiviación, la volatilización y la desnitrificación son los procesos más factibles en la pérdida del N del purín. Al no haber observado un significativo contenido de nitrato en estas incubaciones, ni diferencias entre los tratamientos con y sin el inhibidor de la nitrificación DMPP, es evidente que el descenso de amonio observado en las incubaciones es debido a pérdidas en forma de volatilización de amoniaco, ya que no se ha producido una nitrificación del mismo y, por tanto, tampoco se han producido pérdidas por desnitrificación. El aporte de Vitabox no redujo las pérdidas por volatilización con respecto a los tratamientos que lo llevaban.

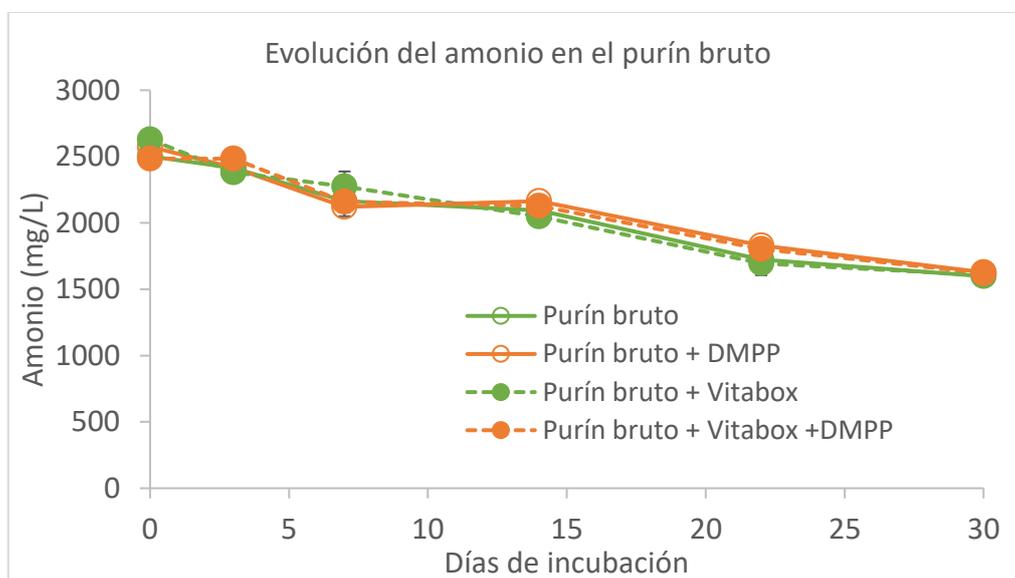
En el caso del purín bruto el comportamiento y las conclusiones a las que llegamos son similares, la única diferencia es que los valores de amonio en las incubaciones son prácticamente dos veces más altos que en el purín filtrado. Esto como es lógico se debe a que los valores de nitrógeno del purín bruto son mayores que los del purín filtrado.

Los datos revelan que, en el purín filtrado, en torno a un 67% del amonio inicial se volatilizó en los 30 días de incubación, mientras que en el purín bruto el porcentaje de volatilización del amoniaco en ese mismo periodo fue de un 35%. Si hacemos referencia a los datos obtenidos de pH, vemos que el purín filtrado presentaba valores de pH más altos que el purín bruto, el equilibrio amoniaco/amoniaco se incrementa a pHs básicos (Zhenghu & Xiao, 2000), por tanto, esto podría explicar la mayor tasa de volatilización observada en el purín filtrado.

Además, como se puede ver en la figura 3, cuando se forma costra superficial como es en nuestro caso con el purín bruto, el porcentaje de emisiones es menor que sin costra. Olesen & Sommer (1993) describieron menores tasas de volatilización en balsas de purín cuando éstas se cubrían con una costra o con cubierta de paja.



Gráfica 13: Evolución del amonio en las incubaciones de purín filtrado con los distintos tratamientos, los datos representan la media  $\pm$  error estándar,  $n=4$ . La estadística realizada para este parámetro se encuentra en el ANEXO 1.



Gráfica 14: Evolución del amonio en las incubaciones de purín bruto con los distintos tratamientos, los datos representan la media  $\pm$  error estándar,  $n=4$ . La estadística realizada para este parámetro se encuentra en el ANEXO 1.

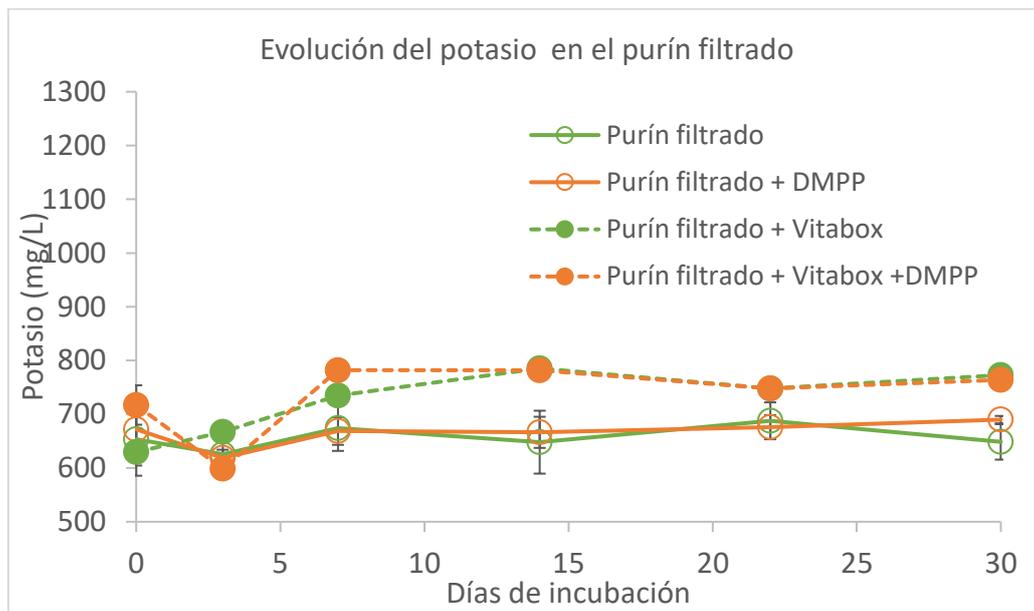
**- Potasio**

El potasio junto al fósforo y al nitrógeno forma parte de la formulación fundamental de los fertilizantes para favorecer el desarrollo de las plantas, además está relacionado con la mejora en la disponibilidad en suelo de otros minerales como el magnesio y calcio (Demagnet et al., 1999). El Potasio está contenido casi exclusivamente en la orina del cerdo, se encuentra en

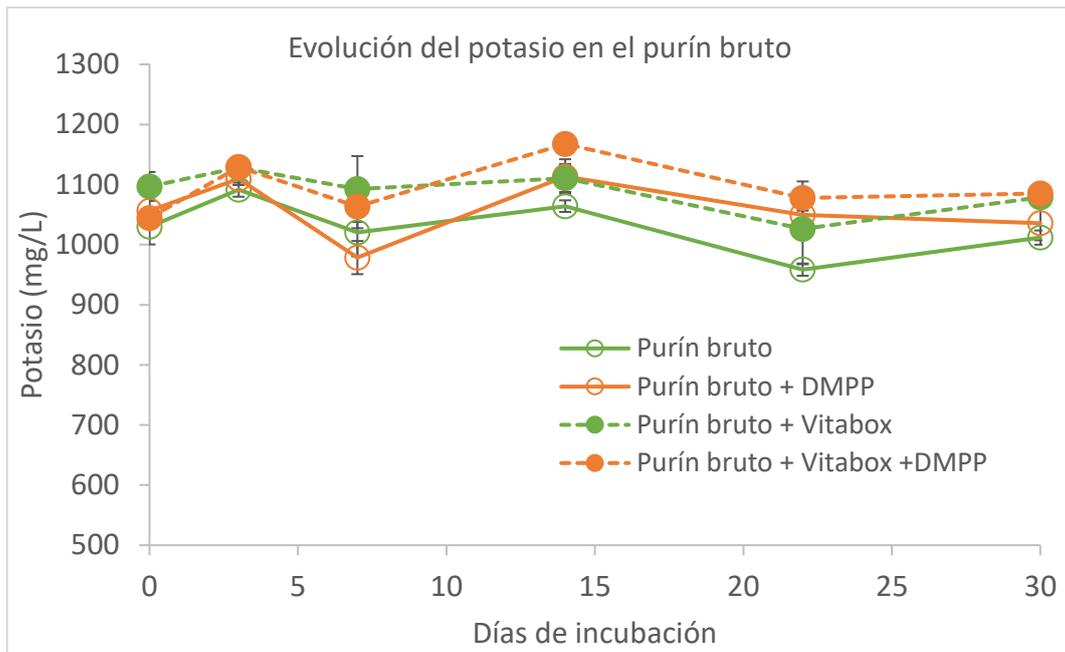
forma de sal mineral soluble en agua (Martínez González, 2019), por tanto, se considera que la eficacia del potasio de los purines es similar a la de los abonos minerales.

Las gráficas 15 y 16 muestran la evolución del potasio en las incubaciones de purín filtrado y bruto con sus diferentes tratamientos durante los 30 días de incubación.

En el caso del purín filtrado muy claramente y menos patente en el caso del purín bruto, los valores de los contenidos de potasio son significativamente mayores en los purines a los que se añadió Vitabox que en los purines que no lo llevaban. Debido a que el potasio no es un elemento mineralizable y su disponibilidad es constante, debida a la solubilidad de las sales que lo contienen (Bernal et al., 1993), podemos decir que con el producto Vitabox se está añadiendo potasio de forma directa al purín.



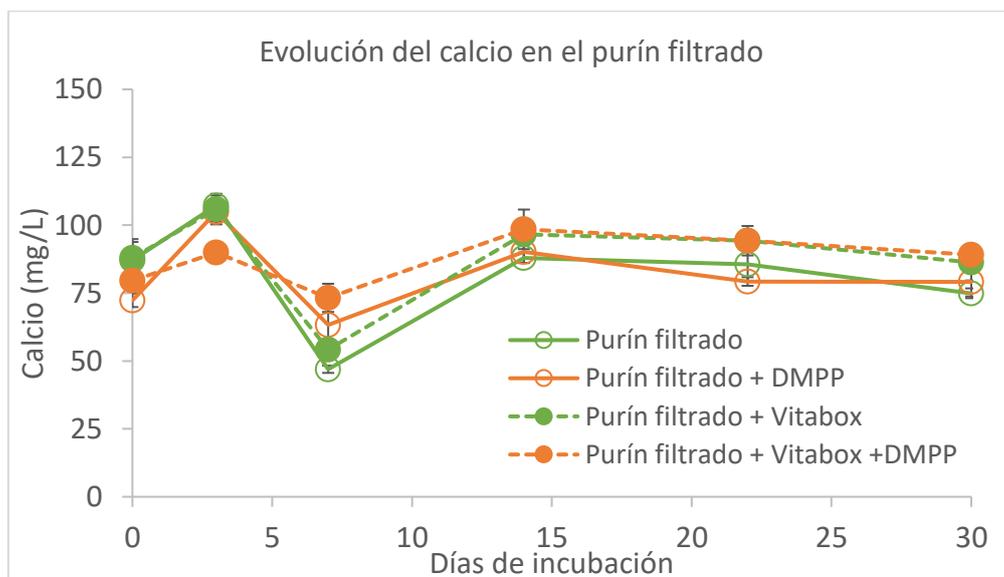
Gráfica 15: Evolución del potasio en las incubaciones de purín filtrado con los distintos tratamientos, los datos representan la media  $\pm$  error estándar,  $n=4$ . La estadística realizada para este parámetro se encuentra en el ANEXO 1.



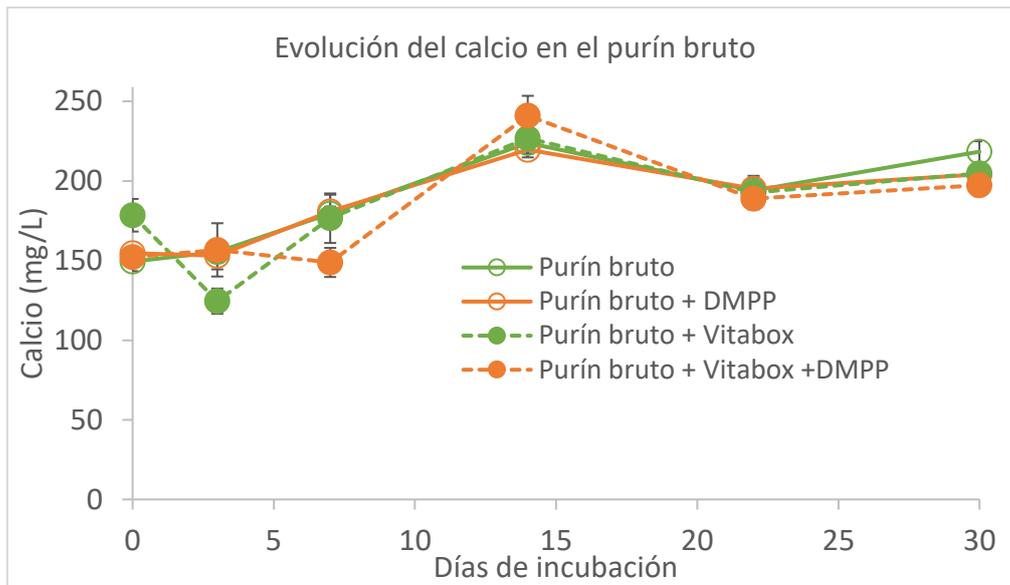
Gráfica 16: Evolución del potasio en las incubaciones de purín bruto con los distintos tratamientos, los datos representan la media  $\pm$  error estándar,  $n=4$ . La estadística realizada para este parámetro se encuentra en el ANEXO 1.

**- Calcio**

En la evolución del calcio representada en las gráficas 17 y 18 para el purín filtrado y bruto respectivamente, se observa un contenido constante a lo largo del ensayo con una mayor variabilidad en los valores hasta el día 7, pero sin diferencias significativas entre tratamientos. En el purín sin filtrar se observa una tendencia a presentar mayores valores de calcio en el purín tratado con Vitabox que en purín sin tratar con este producto, este efecto no es observado en el purín bruto.



Gráfica 17: Evolución del calcio en las incubaciones de purín filtrado con los distintos tratamientos, los datos representan la media  $\pm$  error estándar,  $n=4$ . La estadística realizada para este parámetro se encuentra en el ANEXO 1.



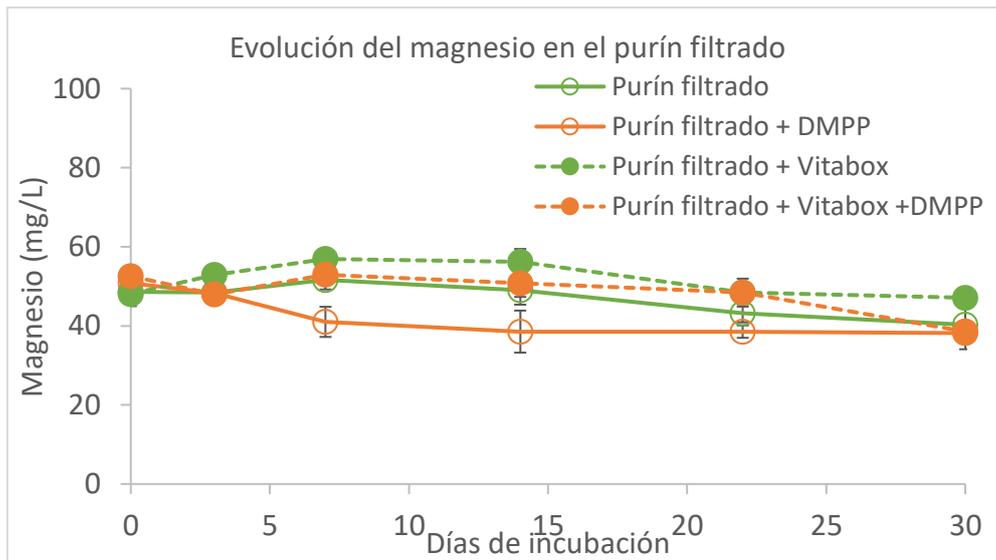
Gráfica 18: Evolución del calcio en las incubaciones de purín bruto con los distintos tratamientos, los datos representan la media  $\pm$  error estándar,  $n=4$ . La estadística realizada para este parámetro se encuentra en el ANEXO 1.

#### - Magnesio

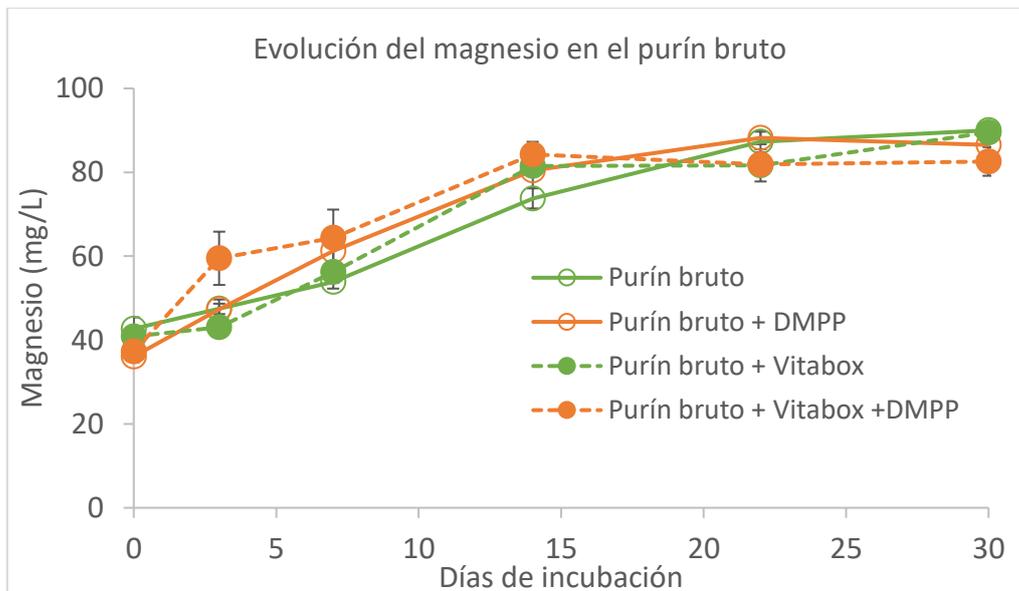
Con respecto a los contenidos y evolución del magnesio en los distintos tratamientos aplicados al purín filtrado o purín bruto, representados en las gráficas 19 y 20 respectivamente, se observa que la evolución del magnesio en el purín filtrado se mantiene bastante constante en torno a 50 ppm durante todo el proceso de incubación. Sorprendentemente y sin que en principio tenga una relación explicable, los valores más bajos los presentó el purín filtrado con inhibidor de la nitrificación respecto a los otros tratamientos.

El magnesio en el purín filtrado no se presenta variaciones significativas entre los diferentes tratamientos, aunque los valores de los tratamientos con vitabox son algo superiores a los que no se les proporciona vitabox. Con respecto al purín bruto, no se observaron diferencias significativas en el contenido de magnesio entre los tratamientos estudiados, aunque al contrario de lo que ocurría en el purín filtrado, los valores de magnesio fueron incrementándose a lo largo del tiempo de incubación.

Los mayores contenidos de calcio y magnesio en el purín filtrado con Vitabox podría estar relacionado con la formación de complejos con la materia orgánica disuelta como describen Bril & Salomons (1990).



Gráfica 19: Evolución del magnesio en las incubaciones de purín filtrado con los distintos tratamientos, los datos representan la media  $\pm$  error estándar,  $n=4$ . La estadística realizada para este parámetro se encuentra en el ANEXO 1.



Gráfica 20: Evolución del magnesio en las incubaciones de purín bruto con los distintos tratamientos, los datos representan la media  $\pm$  error estándar,  $n=4$ . La estadística realizada para este parámetro se encuentra en el ANEXO 1.

#### 4.1.3. Contenido de PK en los purines tratados utilizados como fertilizantes en el ensayo de biomasa

En la tabla 2 se presentan los datos del contenido total de P expresado en forma de  $P_2O_5$  y K expresado en forma de  $K_2O$ . Los datos son valores únicos puesto que se realizó un único análisis de estos contenidos en los bidones que posteriormente se iban a utilizar para los tratamientos de producción de biomasa. Las muestras se tomaron en los momentos inicial y final de la incubación con y sin Vitabox. Es de destacar que estos datos están expresados por materia seca y la materia seca en el purín filtrado fue inferior al 1% mientras que, la materia seca del purín no filtrado fue del orden del 5%, es por eso que los contenidos expresados en la tabla son mayores en el purín filtrado que en el purín sin filtrar, aunque el verdadero valor de estos elementos en la fracción líquida (aplicable a los sistemas de cultivo) sería aproximadamente 5

veces superior al mostrado en el purín sin filtrar. Los datos no pudieron ser expresados por volumen líquido ya que Nasertic únicamente nos dio datos de materia seca aproximados.

*Tabla 2: Contenido de P ( $P_2O_5$ ) y K ( $K_2O$ ) en los purines tratados sin y con Vitabox, expresados en porcentaje de materia seca, e incubados en los bidones que se utilizaron como base en el ensayo de producción de biomasa vegetal. Los datos representan los contenidos de dichos elementos en el momento inicial de la incubación (día 0) y en el momento final de la incubación (día 30).*

Tratamiento	P ( $P_2O_5$ )		K ( $K_2O$ )	
	inicial	final	inicial	final
Purín filtrado	1,15	1,05	10,3	13,7
Purín sin filtrar	4,81	2	2,9	3,3
Purín filtrado + Vitabox	0,93	3,06	11,3	14,1
Purín sin filtrar + Vitabox	2,44	2,07	1,87	1,31

Inicialmente, los datos mostraron que el contenido de fósforo disponible fue mayor siempre en el purín sin filtrar que en el purín filtrado, y menores en los tratamientos con Vitabox que sin Vitabox. Al final de la incubación y cuando los productos fertilizantes estaban preparados para ser aplicados, se observó una mayor disponibilidad de fósforo en el purín filtrado con Vitabox que en el purín filtrado sin vitabox, aunque no podemos decir que sea significativo por ser resultados de una única muestra. En el fosfato soluble como se pudo observar anteriormente en los resultados, las muestras con vitabox presentaron en general valores algo superiores que los tratamientos que no lo llevaban en el purín filtrado, mientras que en el purín sin filtrar los tratamientos que fueron algo superiores fueron los que no llevaban Vitabox. Por tanto, se observa una tendencia entre tratamientos distinta, pero hay que tener en cuenta que un parámetro representa el fósforo total (valor de una única muestra) y el otro el fósforo soluble.

Con respecto al contenido total de potasio los valores fueron menores siempre en el purín sin filtrar que en el purín filtrado, independientemente de si se le añadía vitabox o no, pero por lo anteriormente expuesto probablemente los contenidos de potasio en la fase líquida fueron similares inicialmente en los cuatro tratamientos. En el momento final, los datos muestran un descenso en el contenido de potasio disponible únicamente en el purín sin filtrar con Vitabox comparándolo con el purín sin filtrar y sin vitabox, aunque no podemos decir que sea significativo por ser resultados de una única muestra. En el caso del potasio soluble calculado anteriormente para el purín filtrado los valores de los tratamientos con Vitabox eran mayores que los que no lo contenían. En el purín sin filtrar los resultados mostraron mayores contenidos de potasio en los tratamientos de Vitabox.

La comparativa entre ambas determinaciones no puede realizarse ya que son dos analíticas diferentes, expresadas una por volumen y otra por peso y sin repeticiones en el caso de las determinaciones realizadas por Nasertic.

#### 4.1.4. Contenido de N y C total y composición isotópica en las muestras de incubación

Se realizó una analítica del contenido total de N y C y su composición isotópica en las muestras iniciales y finales de los tratamientos incubados en los recipientes y los resultados y la estadística realizada se muestran en las tablas 3 y 4. En las tablas se puede observar que tanto el porcentaje de carbono como de nitrógeno fue significativamente inferior en el momento final respecto al momento inicial en todos los tratamientos con el purín filtrado. Esto significa que con el paso del tiempo hay una pérdida de nitrógeno por emisiones gaseosas, principalmente por volatilización y se produce una actividad microbiana en el periodo de incubación que consume carbono orgánico en procesos de respiración, además de las emisiones de metano que se producen en las balsas de purín. Las pérdidas por volatilización se ven avaladas por un incremento significativo en todos los tratamientos del  $\delta^{15}\text{N}$  del sistema, que indica un enriquecimiento en  $^{15}\text{N}$ , ya que el isótopo menos pesado  $^{14}\text{N}$  es más susceptible de ser emitido en forma de amoníaco (Frank et al., 2004). Con respecto al  $\delta^{13}\text{C}$  en el momento final este parámetro incrementó significativamente (se hizo menos negativo) respecto al momento inicial en todos los tratamientos, proceso que puede tener que ver con un incremento de la actividad microbiana que genera en el proceso de incubación altas tasas de respiración que modifican de esta forma la composición isotópica del carbono y por otra parte a las pérdidas de C en el proceso de metanización el cual hace que este proceso elimine el carbono más lábil e enriquezca el medio en  $^{15}\text{C}$  (Scharff et al., 2003).

Tabla 3: Contenido de %N,  $\delta^{15}\text{N}$ , %C y  $\delta^{13}\text{C}$  en el purín filtrado tratado sin y con Vitabox y a su vez sin y con DMPP. Los datos están expresados en porcentaje (%N y %C) y en el ratio de composición isotópica ( $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$ ) en el sistema de incubación (líquido/semilíquido). Los datos están representados como medias de 4 repeticiones en el momento inicial de la incubación (día 0) y en el momento final de la incubación (día 30). Las letras representan las diferencias significativas dentro de cada tratamiento entre el momento inicial y final y la parte inferior de la tabla representa el resultado de un ANOVA de dos vías para ver dentro de cada parámetro y en cada momento el efecto de la aplicación de DMPP y de Vitabox y la interacción entre ambos tratamientos (n.s., diferencias no significativas, \* diferencias significativas).

Tratamiento		%N		$\delta^{15}\text{N}$		%C		$\delta^{13}\text{C}$	
		inicial	final	inicial	final	inicial	final	inicial	final
Purín filtrado		0,10 a	0,07 b	6,51 b	27,52 a	0,21 a	0,13 b	-14,25 b	-12,27 a
Purín filtrado + DMPP		0,12 a	0,06 b	6,02 b	28,40 a	0,24 a	0,12 b	-13,66 b	-11,40 a
Purín filtrado + Vitabox		0,10 a	0,05 b	5,81 b	29,16 a	0,19 a	0,11 b	-13,96 b	-11,44 a
Purín filtrado + Vitabox + DMPP		0,10 a	0,05 b	7,30 b	32,53 a	0,20 a	0,11 b	-14,05 b	-11,67 a
ANOVA de dos vías	DMPP	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Vitabox	n.s.	*	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	DMPPxVitabox	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.

Por otra parte, cuando se realiza un ANOVA de dos vías para observar el efecto del DMPP y del producto de Vitabox sobre estos parámetros en el purín filtrado (parte inferior tabla 3), vemos que no hay un efecto ni del DMPP ni del Vitabox en los contenidos de N y C y tampoco en su

composición isotópica, de modo que inicialmente la aplicación de estos tratamientos no tiene ningún efecto sobre el purín filtrado. Deberían ser más interesantes los resultados en el momento final, tras una incubación del purín durante 1 mes con los productos, principalmente con el Vitabox, objeto de estudio en este trabajo. El análisis estadístico revela que el DMPP, independientemente de que se añada Vitabox o no, produce un incremento del  $\delta^{15}\text{N}$ , mostrando un enriquecimiento del isótopo pesado y unas mayores pérdidas de N, posiblemente debido a una inhibición de la mínima nitrificación que pudiera estar produciéndose que generaría un mayor contenido de amonio en el sistema. Por otro lado, el Vitabox, independientemente de si el sistema de incubación llevaba inhibidor de la nitrificación o no, produjo un incremento significativo del  $\delta^{15}\text{N}$ , mostrando un enriquecimiento del isótopo pesado que indica unas mayores pérdidas de N en el momento final. Con el resto de parámetros no se obtuvieron diferencias significativas a destacar.

Tabla 4: Contenido de %N,  $\delta^{15}\text{N}$ , %C y  $\delta^{13}\text{C}$  en el purín sin filtrar tratado sin y con Vitabox y a su vez sin y con DMPP. Los datos están expresados en porcentaje (%N y %C) y en el ratio de composición isotópica ( $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$ ) en el sistema de incubación (líquido/semilíquido). Los datos están representados como medias de 4 repeticiones en el momento inicial de la incubación (día 0) y en el momento final de la incubación (día 30).

		%N		$\delta^{15}\text{N}$		%C		$\delta^{13}\text{C}$	
Tratamiento		inicial	final	inicial	final	inicial	final	inicial	final
Purín sin filtrar		0,19 a	0,13 b	5,19 b	13,23 a	0,37 a	0,30 b	-16,00 a	-16,82 b
Purín sin filtrar + DMPP		0,20 a	0,12 b	5,10 b	12,75 a	0,38 a	0,29 b	-16,06 a	-16,69 b
Purín sin filtrar + Vitabox		0,19 a	0,13 b	4,77 b	13,22 a	0,35 a	0,31 a	-15,64 a	-16,75 b
Purín sin filtrar + Vitabox + DMPP		0,20 a	0,15 b	4,72 b	12,03 a	0,37 a	0,36 a	-15,85 a	-17,24 b
ANOVA de dos vías	DMPP	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Vitabox	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.
	DMPPxVitabox	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

En la tabla 4 se puede observar que al igual que con el purín filtrado, con el purín no filtrado el porcentaje de nitrógeno fue significativamente inferior en el momento final respecto al momento inicial en todos los tratamientos. Igualmente, este resultado indica pérdidas de nitrógeno por emisiones gaseosas principalmente por volatilización. Nuevamente, las pérdidas por volatilización se ven avaladas por un incremento significativo en todos los tratamientos del  $\delta^{15}\text{N}$ , representando un enriquecimiento en  $^{15}\text{N}$  del purín al final del proceso de incubación en todos los tratamientos. Con respecto al contenido de carbono, este fue significativamente inferior en el momento final respecto al inicial en los tratamientos sin Vitabox y sin diferencias significativas en los tratamientos con Vitabox, sugiriendo una mayor respiración en los primeros y/o emisiones de metano y una retención mayor de C en los segundos. La composición isotópica del carbono representada por el parámetro  $\delta^{13}\text{C}$  presenta un descenso significativo en el momento final respecto al momento inicial en todos los tratamientos al contrario de lo que ocurría en el purín filtrado. Este dato resulta muy interesante y es posible que esté relacionado con la carga de materia orgánica muy superior en el purín no filtrado respecto al filtrado.

Cuando se realiza un ANOVA de dos vías para observar el efecto del DMPP y del producto de Vitabox sobre estos parámetros en el purín no filtrado (parte inferior tabla 4), no se observan diferencias significativas de un efecto ni del DMPP ni del Vitabox en los parámetros analizados a excepción de un significativamente mayor contenido de carbono orgánico en los tratamientos del purín con Vitabox, de forma que puede ser que el Vitabox sea una fuente de carbono orgánico por su composición, hecho no observado en el purín filtrado, o que Vitabox establezca el carbono del purín experimentándose menores pérdidas por respiración microbiana o emisiones de metano.

## 4.2. Resultados ensayo de producción

### 4.2.1. Resultados producción de biomasa

En los primeros días de crecimiento de las plantas tras la aplicación de los tratamientos se observó un crecimiento ralentizado y un amarilleamiento de las hojas en ambos cultivos y en todos los tratamientos que progresivamente fueron desapareciendo. Las plantas pueden absorber N del suelo en forma de nitrato y amonio, siendo preferencial por las plantas el nitrato, ya que para la mayoría de los cultivos un aporte de nitrógeno en forma de amoniacal exclusivamente puede resultar tóxico (Ups et al., 2008), de modo que las plantas crecidas con amonio como única fuente de N, pueden presentar problemas en el crecimiento. Habiendo visto en las incubaciones del purín que mayoritariamente el N asimilable para la planta en los tratamientos estaba en forma de amonio, probablemente esta es la explicación observada de que las plantas presentaron síntomas de estrés al principio del crecimiento en todos los tratamientos. Posiblemente, si en vez de un sustrato inerte como es la perlita/vermiculita utilizada en este ensayo para crecer las plantas, se hubiera utilizado suelo se habría producido una nitrificación más eficiente y las plantas hubieran crecido mejor en todos los tratamientos.

El efecto de la producción de biomasa aérea de trigo y cebada crecidos con purín filtrado y sin filtrar, aplicado a distintas dosis de N sin y con Vitabox se presentan en las gráficas 21, 22, 23, 24.

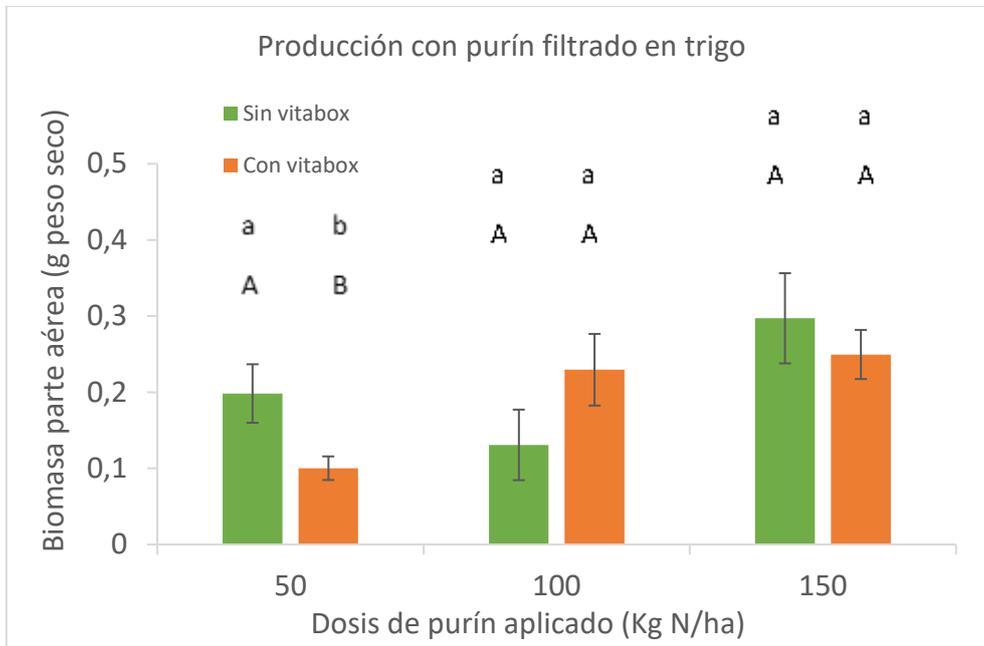
De forma general, la producción de biomasa en la parte aérea fue mayor cuando se aportó purín bruto que cuando se proporcionó purín filtrado, resultado no sorprendente ya que en el proceso de filtración se pierde una gran cantidad de nutrientes que quedan en la fase sólida.

La producción de biomasa en trigo crecido con purín filtrado fue menor en el tratamiento con Vitabox a dosis de 50 kg N/ha en comparación con el tratamiento sin Vitabox y con las dosis de Vitabox más altas (gráfica 21).

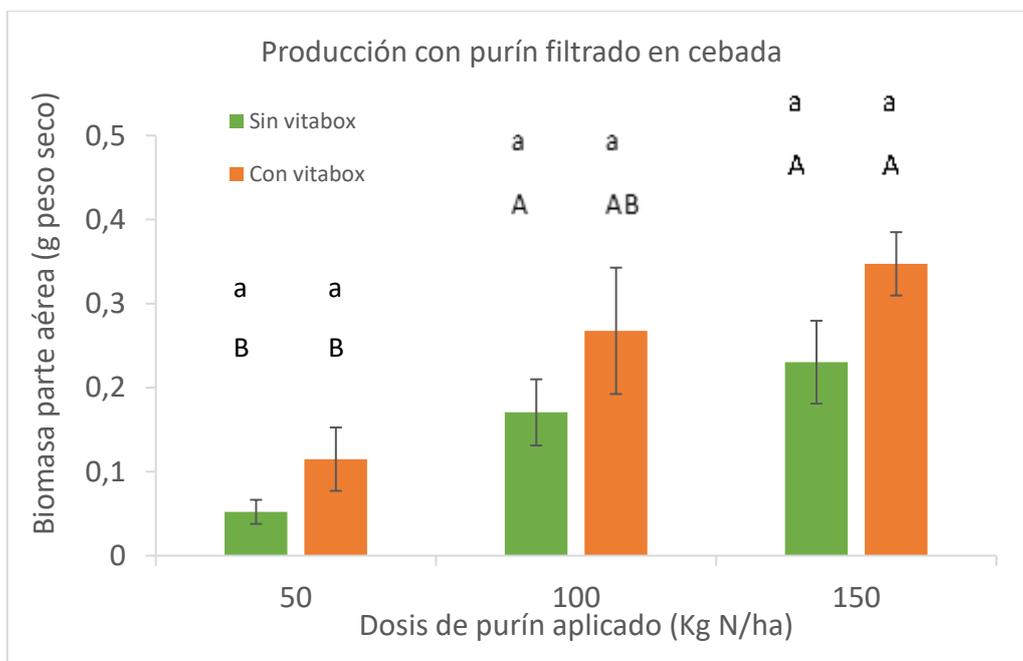
En el caso de la cebada los resultados son más evidentes en el sentido de que, la cebada crecida con purín filtrado produjo menos biomasa a dosis de 50 kg N/ha que a dosis superiores tanto en los tratamientos con Vitabox como en los tratamientos sin este producto (gráfica 22).

Para hacer una valoración del poder fertilizante de un compuesto, es interesante ensayar esos compuestos a dosis subóptimas, ya que a dosis óptimas o superiores la saturación de nutrientes no deja ver la eficiencia entre distintos fertilizantes (López-Bellido & López-Bellido, 2001). En nuestro estudio la dosis de 50 kg N/ha es subóptima ya que la dosis de N recomendada para el cereal de invierno está en torno a 120/150 kg N/ha (Orden Foral 42/2020). Teniendo en cuenta los datos de la dosis subóptima (50 kg N/ha), podemos decir que nuestros resultados muestran que el purín filtrado con Vitabox fue menos eficiente como fertilizante para el trigo o igual de eficiente para la cebada que el purín sin Vitabox.

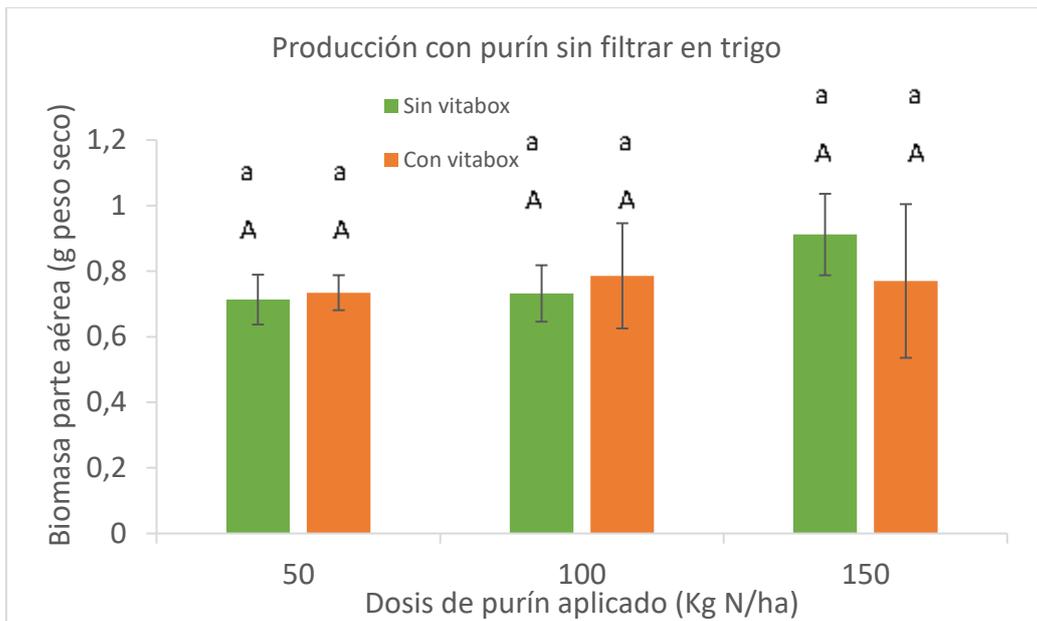
Los resultados obtenidos de producción de biomasa con el purín no filtrado (gráficas 23 y 24) no mostraron diferencias significativas entre ninguno de los tratamientos ni para el trigo ni para la cebada, probablemente porque el purín sin filtrar es más rico en nutrientes que el filtrado y ninguna de las dosis fueron limitantes para la producción de los cultivos ensayados.



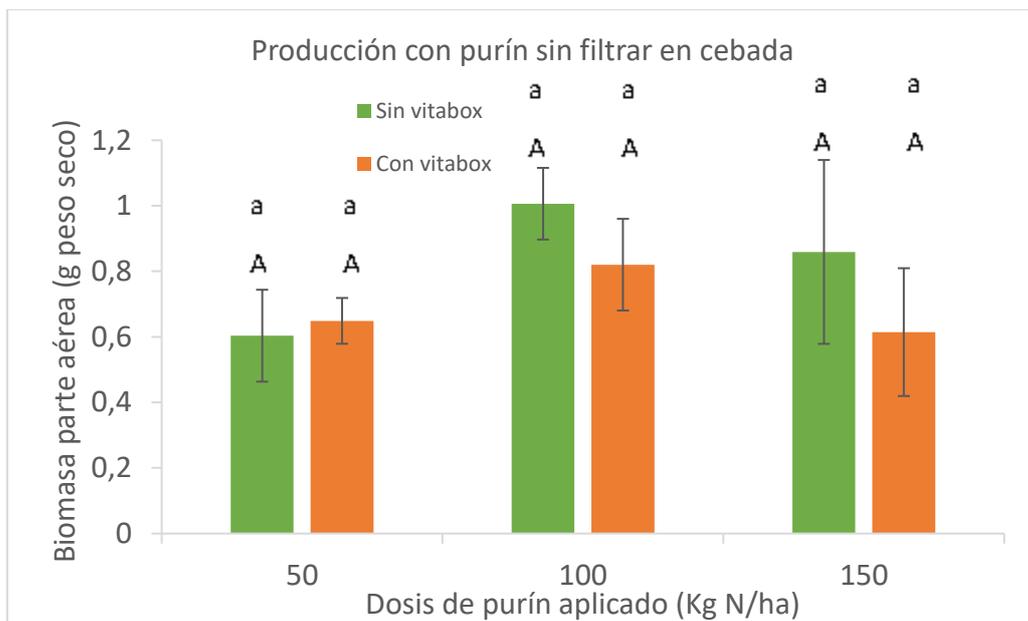
Gráfica 21: Peso seco en trigo con las distintas dosis de purín filtrado, los datos representan la media  $\pm$  error estándar,  $n=5$ . Las letras representan diferencias significativas entre tratamientos entre una misma dosis o en las distintas dosis, han sido calculadas mediante un estudio estadístico.



Gráfica 22: Peso seco en cebada con las distintas dosis de purín filtrado, los datos representan la media  $\pm$  error estándar,  $n=5$ . Las letras representan diferencias significativas entre tratamientos entre una misma dosis o en las distintas dosis, han sido calculadas mediante un estudio estadístico.



Gráfica 23: Peso seco en trigo con las distintas dosis de purín bruto, los datos representan la media  $\pm$  error estándar,  $n=5$ . Las letras representan diferencias significativas entre tratamientos entre una misma dosis o en las distintas dosis, han sido calculadas mediante un estudio estadístico.



Gráfica 24: Peso seco en cebada con las distintas dosis de purín bruto, los datos representan la media  $\pm$  error estándar,  $n=5$ . Las letras representan diferencias significativas entre tratamientos entre una misma dosis o en las distintas dosis, han sido calculadas mediante un estudio estadístico.

#### 4.2.2. Resultados DUALEX

Gracias a una tecnología patentada, el sensor óptico DUALEX permite medir de forma sencilla, rápida y no destructiva la clorofila, los flavonoles y las antocianinas de las hojas. El contenido de clorofilas es un indicativo del contenido de N en la parte aérea de la planta y este parámetro junto al NBI proporcionado también por el sensor son indicativos del estado nitrogenado de la planta y, por tanto, son buenos indicativos de si un fertilizante es óptimo para ser usado como tal, ya que el N es el elemento más determinante en el crecimiento de las plantas.

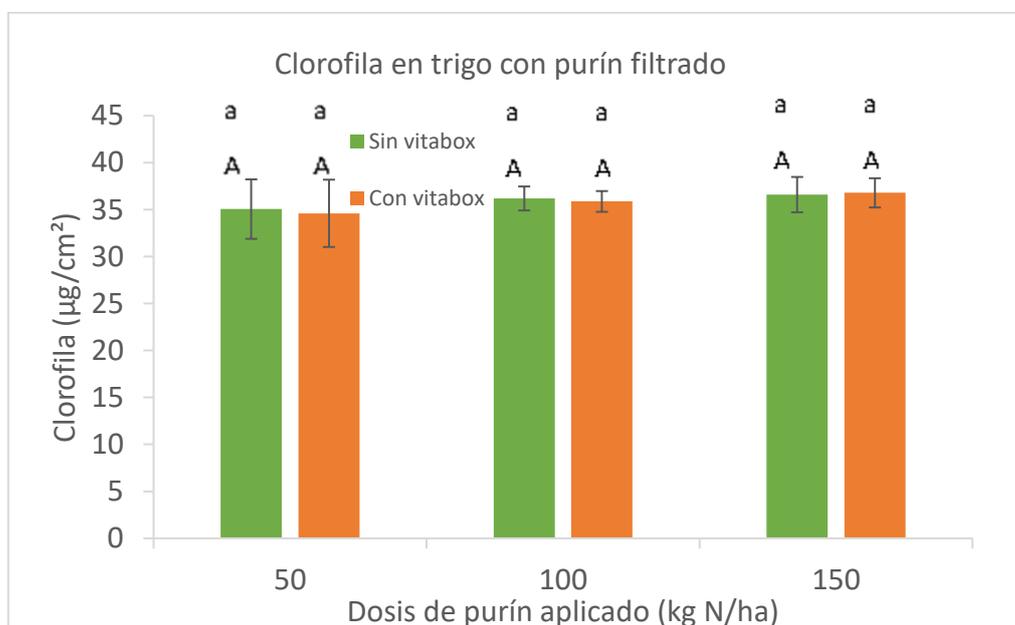
Las gráficas representadas están distribuidas de tal forma que se pueda observar el contenido de clorofila y el índice NBI del trigo y cebada respectivamente con los dos tipos de purines, el filtrado y el bruto y los tratamientos con y sin Vitabox para cada tipo de purín.

### Contenido en Clorofila

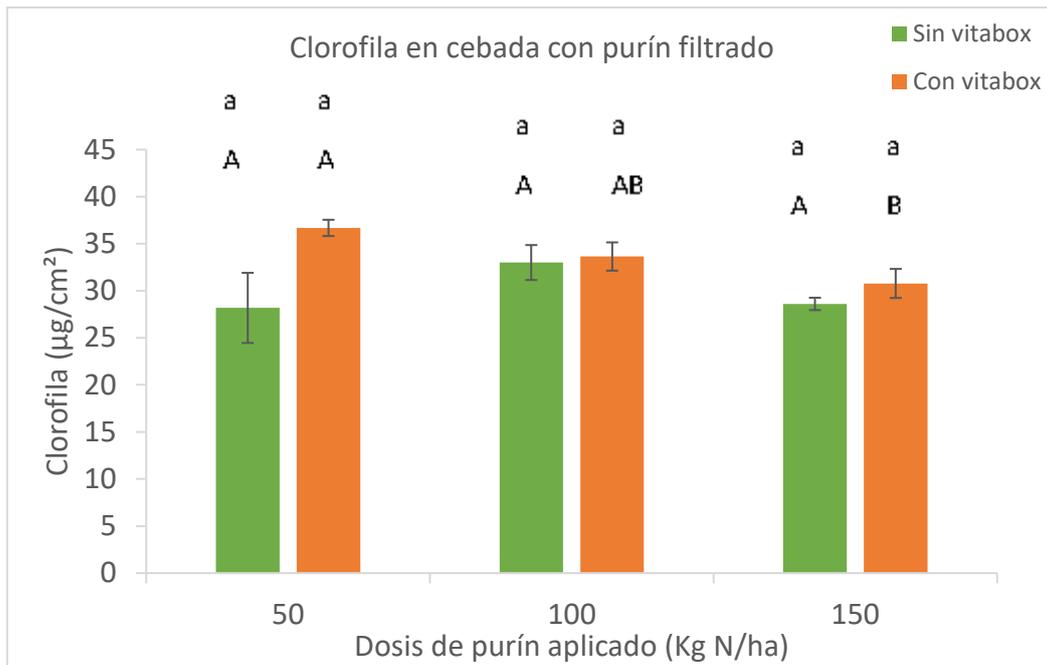
La clorofila desempeña un papel vital en la fotosíntesis, el desarrollo de las plantas y es un indicativo del nitrógeno en la parte aérea de la planta (Castillo & Ligarreto, 2010), por lo que es un parámetro de interés para ver cómo están afectando los diferentes tipos de purín al contenido de nitrógeno de las plantas. A continuación, se representa gráficamente el estado de la clorofila en los diferentes tratamientos del estudio realizado.

Los resultados mostraron que, con el purín filtrado aplicado a las plantas, no hubo diferencias en el contenido de clorofila del trigo entre tratamientos y dosis, mientras que en cebada el incremento en la dosis de N en los tratamientos de Vitabox produjo un menor contenido de clorofila (gráfica 25 y 26). Con respecto a las plantas crecidas con aporte de purín sin filtrar, los resultados mostraron que no había diferencias significativas en el contenido de clorofila en trigo mientras que en cebada en los tratamientos controles sin Vitabox hay una tendencia a disminuir el contenido de clorofilas a medida que aumenta la dosis de N aportada con el purín, además, a dosis alta de nitrógeno el tratamiento con Vitabox incrementó el contenido de clorofilas frente al tratamiento sin Vitabox (gráfica 27 y 28). Los contenidos de clorofila en las plantas de cebada de forma general fueron mayores cuando crecieron con purín filtrado a cuando lo hicieron con purín sin filtrar, independientemente de los tratamientos del purín.

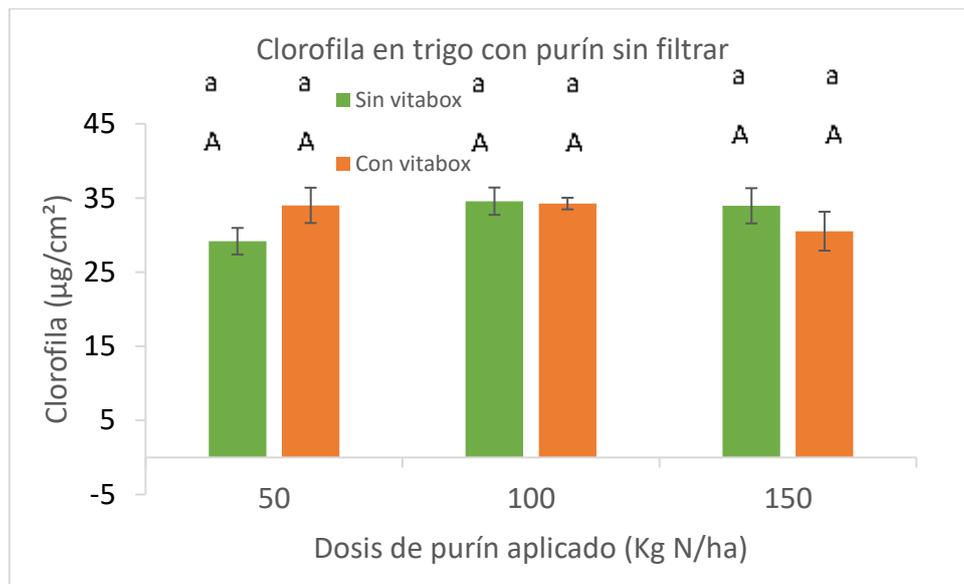
Respecto al aporte de Vitabox en el purín, en general en el cultivo de cebada y no en trigo, los resultados indican que podría incrementar el contenido de clorofilas.



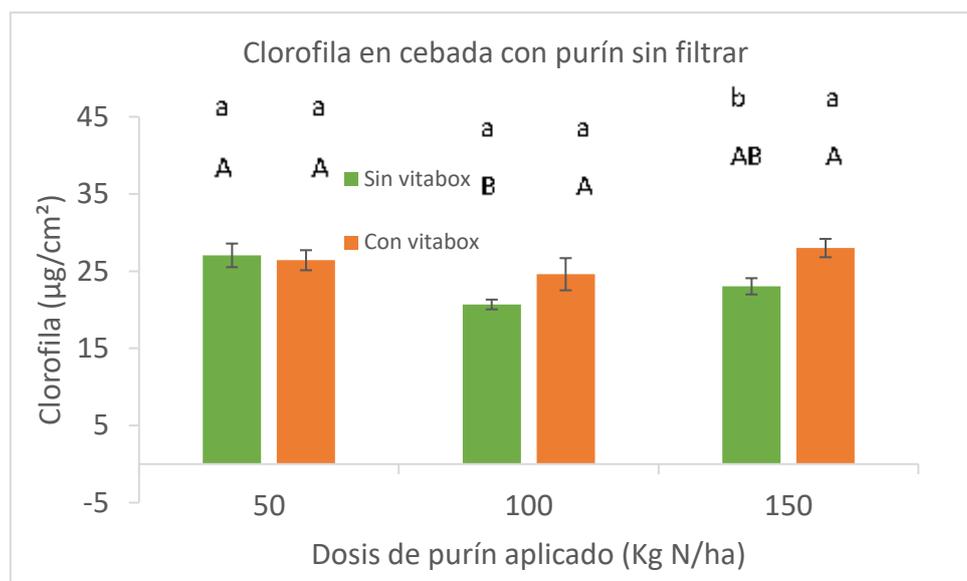
Gráfica 25: Contenido de clorofila en trigo con las diferentes dosis de purín filtrado sin y con Vitabox. Los datos representan la media  $\pm$  error estándar,  $n=5$ . Las letras minúsculas representan diferencias significativas entre tratamientos dentro una misma dosis y las letras mayúsculas representan diferencias significativas en las distintas dosis dentro de cada tratamiento del purín (sin y con Vitabox).



Gráfica 26: Contenido en clorofila en cebada con las diferentes dosis de purín filtrado sin y con Vitabox. Los datos representan la media  $\pm$  error estándar,  $n=5$ . Las letras minúsculas representan diferencias significativas entre tratamientos dentro una misma dosis y las letras mayúsculas representan diferencias significativas en las distintas dosis dentro de cada tratamiento del purín (sin y con Vitabox).



Gráfica 27: Contenido en clorofila en trigo con las diferentes dosis de purín bruto sin y con Vitabox. Los datos representan la media  $\pm$  error estándar,  $n=5$ . Las letras minúsculas representan diferencias significativas entre tratamientos dentro una misma dosis y las letras mayúsculas representan diferencias significativas en las distintas dosis dentro de cada tratamiento del purín (sin y con Vitabox).



Gráfica 28: Contenido en clorofila en cebada con las diferentes dosis de purín bruto sin y con Vitabox. Los datos representan la media  $\pm$  error estándar,  $n=5$ . Las letras minúsculas representan diferencias significativas entre tratamientos dentro una misma dosis y las letras mayúsculas representan diferencias significativas en las distintas dosis dentro de cada tratamiento del purín (sin y con Vitabox).

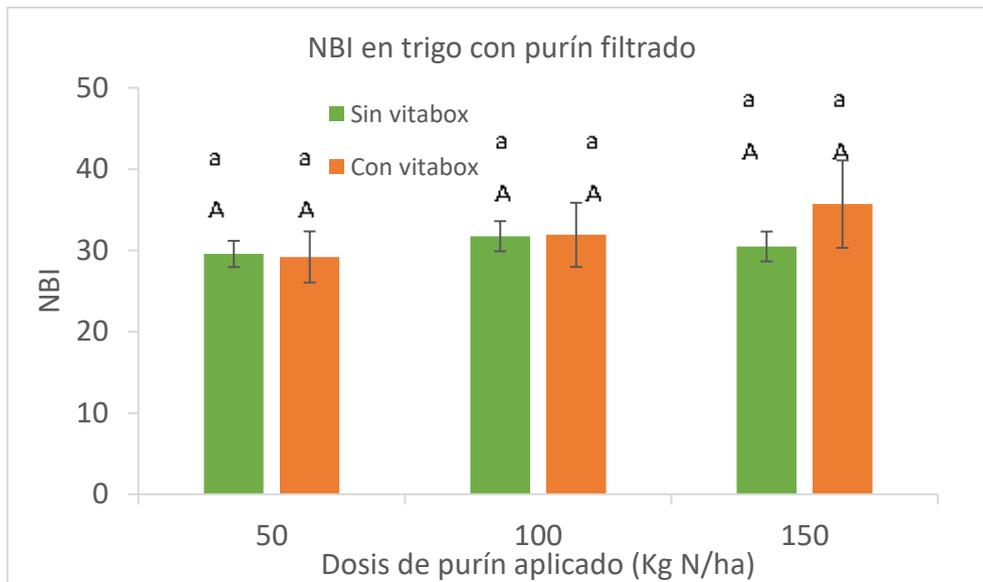
### **Índice NBI**

NBI (Nitrogen Balance Index) es un índice que combina clorofila y flavonoles (relacionados con la asignación de nitrógeno/carbono), ya que al igual que la clorofila, algunos flavonoles son indicativos del estatus nitrogenado de las plantas. El NBI se ha mostrado como un parámetro menos sensible a las variaciones de las condiciones ambientales y morfológicas (edad de la hoja, grosor de la hoja...) que la determinación del contenido de clorofila.

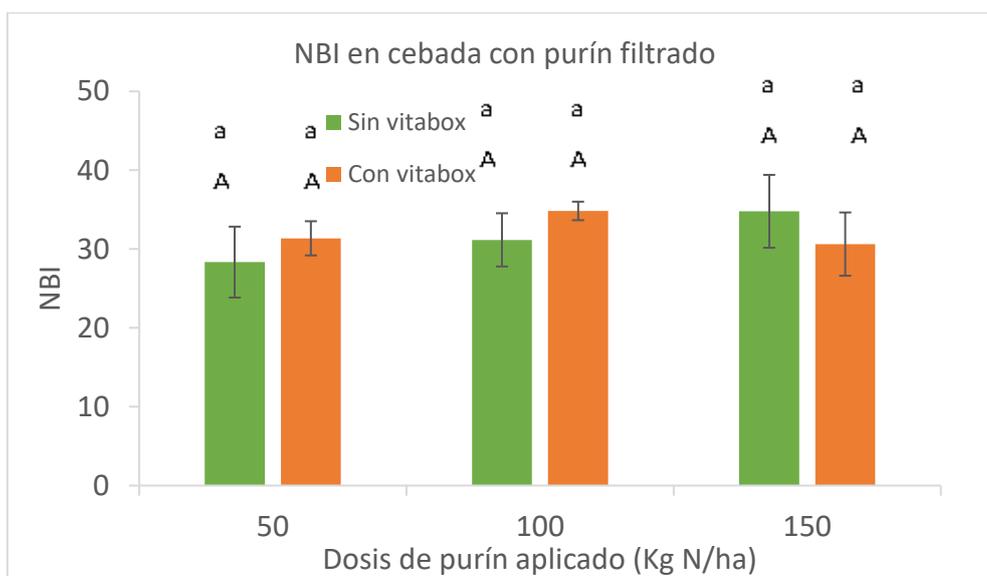
El NBI en las plantas crecidas con purín filtrado muestra en las gráficas 29 y 30, unos valores muy similares en todos los tratamientos y dosis. No se detectan diferencias significativas entre dosis dentro de tratamientos sin y con Vitabox, ni entre tratamientos sin y con Vitabox dentro de cada dosis para ninguno de los cultivos ensayados, según el estudio estadístico realizado.

Los resultados obtenidos para las plantas crecidas con purín sin filtrar son similares a los obtenidos con purín sin filtrar, en el sentido de que el índice NBI no se ve alterado para ningún tratamiento (gráficas 31 y 32)

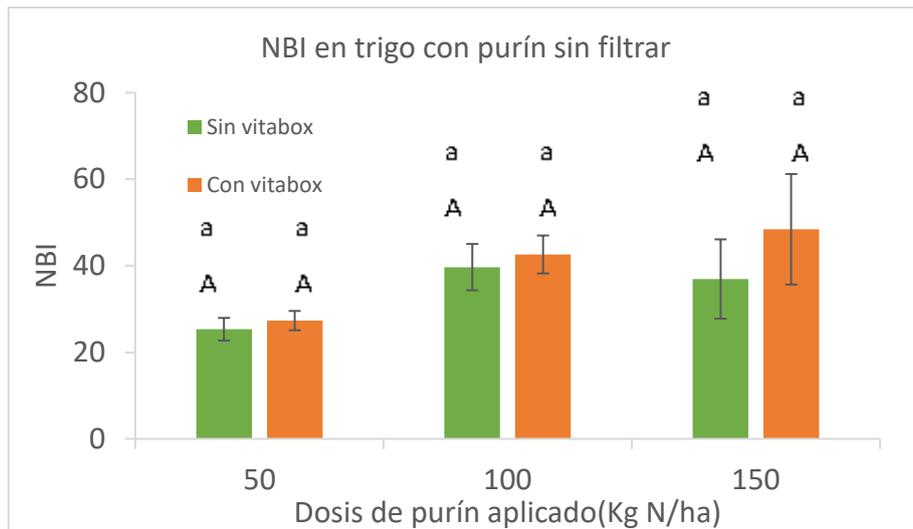
Como hemos dicho anteriormente tanto el contenido de clorofilas como el índice NBI son indicativos del estatus nitrogenado de las plantas, sin embargo, solo detectamos pequeñas diferencias en el contenido de clorofilas en cebada probablemente por ser este un parámetro que pueda estar más afectado por otras condiciones que no sean el contenido de N en la planta (Medellín et al., 2011).



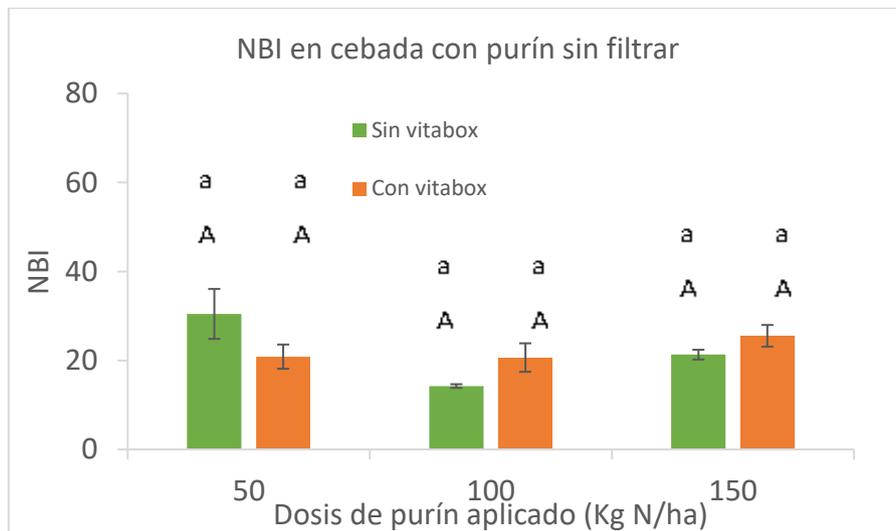
Gráfica 29: NBI en trigo con las diferentes dosis de purín filtrado sin y con Vitabox. Los datos representan la media  $\pm$  error estándar,  $n=5$ . Las letras minúsculas representan diferencias significativas entre tratamientos dentro una misma dosis y las letras mayúsculas representan diferencias significativas en las distintas dosis dentro de cada tratamiento del purín (sin y con Vitabox).



Gráfica 30: NBI en cebada con las diferentes dosis de purín filtrado sin y con Vitabox. Los datos representan la media  $\pm$  error estándar,  $n=5$ . Las letras minúsculas representan diferencias significativas entre tratamientos dentro una misma dosis y las letras mayúsculas representan diferencias significativas en las distintas dosis dentro de cada tratamiento del purín (sin y con Vitabox).



Gráfica 31: NBI en trigo con las diferentes dosis de purín bruto sin y con Vitabox. Los datos representan la media  $\pm$  error estándar,  $n=5$ . Las letras minúsculas representan diferencias significativas entre tratamientos dentro una misma dosis y las letras mayúsculas representan diferencias significativas en las distintas dosis dentro de cada tratamiento del purín (sin y con Vitabox).



Gráfica 32: NBI en cebada con las diferentes dosis de purín bruto sin y con Vitabox. Los datos representan la media  $\pm$  error estándar,  $n=5$ . Las letras minúsculas representan diferencias significativas entre tratamientos dentro una misma dosis y las letras mayúsculas representan diferencias significativas en las distintas dosis dentro de cada tratamiento del purín (sin y con Vitabox).

## 5. CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos muestran una ausencia de nitrificación tanto en los purines sin Vitabox como en los que llevaban este producto.
- La volatilización de amonio no fue disminuida por la presencia de Vitabox y el porcentaje de volatilización fue mayor en el purín filtrado que en el purín bruto probablemente por un mayor pH del purín filtrado y una formación de costra en el purín bruto que pudo limitar las emisiones de amoniaco.
- Los datos obtenidos del N y C total y su composición isotópica refuerzan la conclusión sobre la volatilización de amonio en los sistemas estudiados e indican emisiones de metano y/o CO<sub>2</sub> similares entre tratamientos.
- Vitabox incrementó el contenido de calcio, sodio y potasio en el purín, de forma más patente en el purín filtrado debido a la composición más homogénea del mismo. Estos elementos pudieron añadirse con el producto sin intervenir en procesos biológicos del purín.
- Vitabox no generó beneficios en la producción ni de trigo ni de cebada, ni si quiera a dosis subóptimas de nitrógeno donde no existe una saturación de aporte de este elemento.
- El índice NBI y el contenido de clorofila mostró que el estatus de nitrógeno en las plantas de cebada y trigo no fue afectado por el aporte de Vitabox a los purines.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Avaro, J., Vallejo, A., & Guardia, G. (2023). Uso racional de la fertilización orgánica para maximizar la eficiencia agronómica, ambiental y económica - *Grandes cultivos*. <https://www.interempresas.net/Grandes-cultivos/Articulos/404959-Uso-racional-fertilizacion-organica-maximizar-eficiencia-agronomica-ambiental-economica.html>
- Barceló C., J. , Nicolás , G. , Sabater , B. y Sánchez, R. (1995). *Nutrición mineral. Fisiología vegetal*. Ediciones Pirámide S.A.
- Bernal, P.M., Lax, A., & Roig, A. (1993). The effect of pig slurry on exchangeable potassium in calcareous soils. *Biology and Fertility of Soils*, 16, 169-172.
- Bril, J., & Salomons, W. (1990). Chemical composition of animal manure: a modelling approach. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 38, 333-351.
- Campogalego. (2020). ¿Cómo reducir las emisiones? Gestión del purín y el estiércol - *Campogalego*. <https://www.campogalego.es/como-reducir-las-emisiones-gestion-del-purin-y-el-estiercol/>
- Castillo, A. R., & Ligarreto, G. A. (2010). Relación entre nitrógeno foliar y el contenido de clorofila, en maíz asociado con pastos en el Piedemonte Llanero colombiano. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 11, 122-128.
- Demaret F., R., Aguilera S., S. M., & Mora G., M. de la L. (1999). Efecto de la aplicación de purines sobre el sistema suelo - planta. *Frontera Agrícola* 5, 87-94
- Flotats, X. (2022a). Gestión de purines y emisión de gases contaminantes. *Suis* 193, 8-14.
- Flotats, X. (2022b). Aumentar el valor fertilizante de los purines: acidificación. *Publicaciones digitales 3tres3, Comunidad porcina*. [https://www.3tres3.com/articulos/aumentar-el-valor-fertilizante-de-los-purines-acidificacion\\_45338/](https://www.3tres3.com/articulos/aumentar-el-valor-fertilizante-de-los-purines-acidificacion_45338/)
- Frank, D. A., Evans, R. D., & Tracy, B. F. (2004). The role of ammonia volatilization in controlling the natural <sup>15</sup>N abundance of a grazed grassland. *Biogeochemistry*, 68, 169-178.
- Goulas, Y., Cerovic, Z. G., Cartelat, A., & Moya, I. (2004). Dualox: A new instrument for field measurements of epidermal ultraviolet absorbance by chlorophyll fluorescence. *Applied Optics*, 43, 4488-4496.
- Lema Grille, M. (2022). *SAI - Técnicas Instrumentales de Análisis*. <https://www.sai.udc.es/es/unidades/UTIA>
- Lips, S. H., Leidi, E. O., Silberbush, M., Soares, M. I. M., & Lewis, O. E. M. (2008). Physiological aspects of ammonium and nitrate fertilization. *Journal of Plant Nutrition*, 13, 1271-1289.
- Lobera, J. B., Martínez, L.P., Fenández, R.F., & Martín Gámez, F.J. (1998). Reutilización agronómica de os purines de cerdo. *Servicio de Formación y Tráferencia tecnológica*, 162 p. Departamento de agricultura, ganadería y pesca de Murcia.
- López, G., Bayo, J., & Faz, A. (2011). Análisis ambiental y económico de la gestión de purín de cerdo. VI Congreso Ibérico de Agroingeniería.
- López-Bellido, R. J., & López-Bellido, L. (2001). Efficiency of nitrogen in wheat under Mediterranean conditions: effect of tillage, crop rotation and N fertilization. *Field Crops Research*, 71, 31-46.

- Martínez González, B. A. (2019). *Evaluación de impactos ambientales en la industria porcina y propuestas de mejora en el manejo de purines. Estudio de caso*. Tesis doctoral. Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/175505>
- Medellín, L. A. C., Rozo, A. M. B., & Trujillo, M. M. P. (2011). Ensayo preliminar sobre la utilización de un medidor portátil de clorofila para estimar el nitrógeno foliar en orégano (*Origanum vulgare* L.). *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 7, 150-165.
- Real Decreto 324/2000 de 3 de marzo, por el que se establecen normas básicas de ordenación de las explotaciones porcinas. *Boletín Oficial del Estado* 58, de 8 de marzo de 2000. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2000-4447>
- Real Decreto 47/2022 de 18 de enero, sobre la protección de las aguas contra la contaminación difusa producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias. *Boletín Oficial del Estado* 17, de 20 de enero de 2022. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2022-860>
- Real Decreto 980/2017 de 10 de noviembre, para la aplicación en España de la Política Agrícola Común. *Boletín Oficial del Estado* 247, de 11 de noviembre de 2017. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2017-12981>
- Real Decreto 2818/1998 de 23 de diciembre, sobre producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables, residuos y cogeneración. *Boletín Oficial del Estado* 312, de 30 de diciembre de 1998. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1998-30041>
- Real Decreto 306/2020 de 11 de febrero, establece normas básicas de ordenación de las granjas porcinas intensivas, y se modifica la normativa básica de ordenación de las explotaciones de ganado porcino extensivo. *Boletín Oficial del Estado* 38, de 13 de febrero de 2020. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2020-2110>
- Real Decreto 1051/2022 de 27 de diciembre, establecen normas para la nutrición sostenible en los suelos agrarios. *Boletín Oficial del Estado* 312, de 29 de diciembre de 2022. [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2022-23052](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2022-23052)
- Olesen, J. E., & Sommer, S. G. (1993). Modelling effects of wind speed and surface cover on ammonia volatilization from stored pig slurry. *Atmospheric Environment. Part A. General Topics*, 27, 2567-2574.
- Scharff, H., Martha, A., v. Rijn, D.M.M., Hensen, A., Flechard, C., Oonk, H., Vroon, R., de Visscher, A., Boeckx, P. (2003) A comparison of measurement methods to determine landfill methane emissions, *NV Afvalzorg, Haarlem, The Netherlands*.
- Orden Foral 42/2020, de 3 de marzo, por el que se establece el reglamento técnico para la producción integrada del cereal de invierno. *Boletín Oficial de Navarra* 94, de 7 de mayo de 2020. [https://www.navarra.es/NR/rdonlyres/731FBD5D-6C97-43C1-8A30-0318F154E27F/462461/RTPICerealinvierno\\_c1.pdf](https://www.navarra.es/NR/rdonlyres/731FBD5D-6C97-43C1-8A30-0318F154E27F/462461/RTPICerealinvierno_c1.pdf)
- Parera, J. (2010). Conocer los nutrientes del purín para la correcta fertilización. *Publicaciones digitales 3tres3, Comunidad porcina*. [https://www.3tres3.com/articulos/conocer-los-nutrientes-del-purin-para-la-correcta-fertilizacion\\_2978/](https://www.3tres3.com/articulos/conocer-los-nutrientes-del-purin-para-la-correcta-fertilizacion_2978/)

- Pasda, G., Hähndel, R., & Zerulla, W. (2001). Effect of fertilizers with the new nitrification inhibitor DMPP (3,4-dimethylpyrazole phosphate) on yield and quality of agricultural and horticultural crops. *Biology and Fertility of Soils*, 34, 85-97.
- Subbarao, G. V., Ito, O., Berry, W. L., & Wheeler, R. M. (2003). Sodium-A Functional Plant Nutrient. *Critical Reviews In Plant Science* 22, 391-416.
- Tcherkez, G., & Hodges, M. (2008). How stable isotopes may help to elucidate primary nitrogen metabolism and its interaction with (photo)respiration in C3 leaves. *Journal of Experimental Botany*, 59, 1685-1693.
- Tinas, J. (2017). *La realidad de los purines, un problema ambiental recurrente*. El economista.es (publicación digital)  
<https://www.eleconomista.es/firmas/noticias/8624437/09/17/PURINES-UN-PROBLEMA-RECURRENTE.html>
- Yagüe, M. R., & Quílez, D. (2008). Métodos rápidos de análisis como herramienta de gestión en la fertilización con purín porcino: conductimetría. *Informaciones Técnicas* 195. Dirección General de Desarrollo Rural. Centro de Transferencia Agroalimentaria. Gobierno de Aragón. 16 pp.
- Zhenghu, D., & Xiao, H. (2000). Effects of soil properties on ammonia volatilization. *Soil Science and Plant Nutrition*, 46, 845-852.
- Zhou, P., Bai, X., Wang, H., Yang, M., Bao, L., Deng, X., Chen, Z., & Zhou, J. (2023). Optimizing nitrogen and water management for sustainable greenhouse vegetable production with less greenhouse gas emissions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 352, 108529.

## 7. ANEXO 1

### ESTADÍSTICA

#### Estadística del pH y de la conductividad

1.1 Purín filtrado	2.1 Purín bruto
1.2 Purín filtrado + inhibidor	2.2 Purín bruto + inhibidor
1.3 Purín filtrado + Vitabox	2.3 Purín bruto + Vitabox
1.4 Purín filtrado + Vitabox + inhibidor	2.4 Purín bruto + Vitabox + inhibidor

Tabla 5: Estadística pH de los diferentes tratamientos del purín. Los datos están representados como medias de 4 repeticiones en el momento del día de incubación. Las letras representan las diferencias significativas dentro de cada tratamiento

pH	0	3	7	14	22	30
Filtrado	1.1 a	1.1 a	1.1 a	1.1 a	1.1 a	1.1 a
	1.2 b	1.2 b	1.2 b	1.2 a	1.2 b	1.2 c
	1.3 a	1.3 a	1.3 b	1.3 a	1.3 a	1.3 b
	1.4 a	1.4 a	1.4 c	1.4 b	1.4 b	1.4 bc
Bruto	2.1 b	2.1 a	2.1 a	2.1 a	2.1 a	2.1 a
	2.2 ab	2.2 a	2.2 a	2.2 a	2.2 ab	2.2 a
	2.3 a	2.3 ab	2.3 a	2.3 a	2.3 ab	2.3 a
	2.4 ab	2.4 b	2.4 a	2.4 a	2.4 b	2.4 a

Tabla 6: Estadística de la conductividad de los diferentes tratamientos del purín. Los datos están representados como medias de 4 repeticiones en el momento del día de incubación. Las letras representan las diferencias significativas dentro de cada tratamiento.

Conductividad	0	3	7	14	22	30
Filtrado	1.1 b	1.1 b	1.1 b	1.1 b	1.1 a	1.1 ab
	1.2 b	1.2 b	1.2 ab	1.2 ab	1.2 a	1.2 a
	1.3 a	1.3 a	1.3 ab	1.3 a	1.3 a	1.3 ab
	1.4 b	1.4 b	1.4 a	1.4 ab	1.4 a	1.4 b
Bruto	2.1 a	2.1 a	2.1 a	2.1 a	2.1 a	2.1 a
	2.2 a	2.2 a	2.2 a	2.2 a	2.2 a	2.2 a
	2.3 b	2.3 b	2.3 a	2.3 a	2.3 a	2.3 a
	2.4 a	2.4 a	2.4 a	2.4 a	2.4 a	2.4 a

#### Estadística de los iones

1.1 Purín filtrado	2.1 Purín bruto
1.2 Purín filtrado + inhibidor	2.2 Purín bruto + inhibidor
1.3 Purín filtrado + Vitabox	2.3 Purín bruto + Vitabox
1.4 Purín filtrado + Vitabox + inhibidor	2.4 Purín bruto + Vitabox + inhibidor

Tabla 7: Estadística iones purín filtrado.

Elemento	Día 0	Día 3	Día 7	Día 14	Día 22	Día 30
<b>Cloro</b>	1.1a	1.1ab	1.1a	1.1ab	1.1a	1.1a
	1.2a	1.2ab	1.2a	1.2b	1.2a	1.2a
	1.3a	1.3a	1.3a	1.3a	1.3a	1.3a
	1.4a	1.4b	1.4a	1.4a	1.4a	1.4a
<b>Nitrato</b>	1.1a	1.1a	1.1a	1.1a	1.1ab	1.1a
	1.2a	1.2ab	1.2a	1.2a	1.2a	1.2a
	1.3a	1.3ab	1.3a	1.3a	1.3ab	1.3b
	1.4a	1.4b	1.4a	1.4a	1.4b	1.4b
<b>Nitrato</b>	1.1a	1.1a	1.1a	1.1a	1.1a	1.1a
	1.2a	1.2a	1.2a	1.2b	1.2a	1.2a
	1.3a	1.3ab	1.3a	1.3c	1.3a	1.3a
	1.4a	1.4b	1.4a	1.4bc	1.4a	1.4a
<b>Fosfato</b>	1.1a	1.1a	1.1b	1.1b	1.1a	1.1c
	1.2a	1.2a	1.2ab	1.2b	1.2b	1.2b
	1.3a	1.3ab	1.3ab	1.3a	1.3b	1.3b
	1.4a	1.4b	1.4a	1.4a	1.4a	1.4a
<b>Sulfato</b>	1.1b	1.1a	1.1a	1.1b	1.1bc	1.1b
	1.2b	1.2a	1.2a	1.2b	1.2c	1.2a
	1.3a	1.3a	1.3ab	1.3b	1.3a	1.3a
	1.4a	1.4b	1.4b	1.4a	1.4ab	1.4a
<b>Sodio</b>	1.1a	1.1a	1.1b	1.1a	1.1a	1.1b
	1.2a	1.2a	1.2b	1.2a	1.2a	1.2ab
	1.3a	1.3a	1.3ab	1.3a	1.3a	1.3a
	1.4a	1.4a	1.4a	1.4a	1.4a	1.4a
<b>Amonio</b>	1.1a	1.1a	1.1a	1.1a	1.1a	1.1ab
	1.2a	1.2a	1.2a	1.2a	1.2a	1.2a
	1.3a	1.3a	1.3a	1.3a	1.3a	1.3ab
	1.4a	1.4a	1.4a	1.4a	1.4a	1.4b
<b>Potasio</b>	1.1a	1.1a	1.1b	1.1b	1.1a	1.1b
	1.2a	1.2a	1.2b	1.2b	1.2a	1.2b
	1.3a	1.3a	1.3ab	1.3a	1.3a	1.3a
	1.4a	1.4a	1.4a	1.4a	1.4a	1.4a
<b>Calcio</b>	1.1a	1.1a	1.1c	1.1a	1.1a	1.1a
	1.2a	1.2a	1.2ab	1.2a	1.2a	1.2a
	1.3a	1.3a	1.3bc	1.3a	1.3a	1.3a
	1.4a	1.4b	1.4a	1.4a	1.4a	1.4a
<b>Magnesio</b>	1.1a	1.1a	1.1a	1.1ab	1.1ab	1.1a
	1.2a	1.2a	1.2b	1.2b	1.2b	1.2a
	1.3a	1.3a	1.3a	1.3a	1.3a	1.3a
	1.4a	1.4a	1.4a	1.4ab	1.4ab	1.4a

Tabla 8: Estadística iones purín bruto.

Elemento	Día 0	Día 3	Día 7	Día 14	Día 22	Día 30
<b>Cloro</b>	2.1a 2.2a 2.3a 2.4a	2.1a 2.2a 2.3a 2.4a	2.1a 2.2a 2.3a 2.4a	2.1a 2.2a 2.3a 2.4a	2.1a 2.2a 2.3a 2.4a	2.1a 2.2a 2.3a 2.4a
<b>Nitrito</b>	2.1b 2.2a 2.3a 2.4ab	2.1a 2.2a 2.3a 2.4a	2.1a 2.2a 2.3a 2.4a	2.1a 2.2a 2.3a 2.4a	2.1a 2.2a 2.3b 2.4b	2.1a 2.2a 2.3b 2.4b
<b>Nitrato</b>	2.1a 2.2a 2.3a 2.4a	2.1a 2.2a 2.3a 2.4a	2.1a 2.2a 2.3a 2.4a	2.1a 2.2a 2.3a 2.4a	2.1bc 2.2a 2.3c 2.4ab	2.1a 2.2a 2.3a 2.4a
<b>Fosfato</b>	2.1a 2.2a 2.3a 2.4a	2.1a 2.2a 2.3b 2.4a	2.1a 2.2a 2.3a 2.4a	2.1a 2.2a 2.3a 2.4a	2.1a 2.2a 2.3b 2.4b	2.1a 2.2a 2.3a 2.4a
<b>Sulfato</b>	2.1b 2.2b 2.3a 2.4a	2.1a 2.2a 2.3a 2.4a	2.1a 2.2a 2.3a 2.4a	2.1a 2.2a 2.3a 2.4a	2.1b 2.2a 2.3ab 2.4ab	2.1a 2.2a 2.3a 2.4a
<b>Sodio</b>	2.1a 2.2a 2.3a 2.4a	2.1a 2.2a 2.3a 2.4a	2.1a 2.2a 2.3a 2.4a	2.1a 2.2a 2.3a 2.4a	2.1a 2.2a 2.3a 2.4a	2.1a 2.2a 2.3a 2.4a
<b>Amonio</b>	2.1a 2.2a 2.3a 2.4a	2.1a 2.2a 2.3a 2.4a	2.1a 2.2a 2.3a 2.4a	2.1a 2.2a 2.3a 2.4a	2.1a 2.2a 2.3a 2.4a	2.1a 2.2a 2.3a 2.4a
<b>Potasio</b>	2.1a 2.2a 2.3a 2.4a	2.1a 2.2a 2.3a 2.4a	2.1a 2.2a 2.3a 2.4a	2.1b 2.2ab 2.3ab 2.4a	2.1b 2.2ab 2.3ab 2.4a	2.1b 2.2ab 2.3a 2.4a
<b>Calcio</b>	2.1b 2.2b 2.3a 2.4b	2.1a 2.2a 2.3a 2.4a	2.1a 2.2a 2.3a 2.4a	2.1a 2.2a 2.3a 2.4a	2.1 <sup>a</sup> 2.2a 2.3a 2.4a	2.1a 2.2ab 2.3ab 2.4b
<b>Magnesio</b>	2.1a 2.2a 2.3a 2.4a	2.1b 2.2b 2.3b 2.4a	2.1a 2.2a 2.3a 2.4a	2.1b 2.2ab 2.3ab 2.4a	2.1 <sup>a</sup> 2.2a 2.3a 2.4a	2.1a 2.2a 2.3a 2.4a