



e s c u e l a
p o l i t é c n i c a
s u p e r i o r
d e h u e s c a



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Caracterización de un subproducto ganadero para
su aplicación agrícola. Metodología de muestreo.

Autor/es

Alberto Castillo Aranda

Director/es

Jesús Ángel Betrán Aso
Francisco Iguácel Soteras

Ciencias Ambientales
Escuela Politécnica Superior de Huesca
Noviembre 2013



Trabajo Fin de Grado

Caracterización de un subproducto ganadero para su aplicación agrícola. Metodología de muestreo.

Autor/es

Alberto Castillo Aranda

Director/es

Jesús Ángel Betrán Aso
Francisco Iguácel Soteras

Ciencias Ambientales
Escuela Politécnica Superior de Huesca
Noviembre 2013

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Laboratorio Agroambiental del Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente, del Gobierno de Aragón, la oportunidad de realizar este trabajo, además de proporcionarme todos los medios necesarios para su desarrollo. Así como a todo el personal por su ayuda a lo largo de mi estancia.

El presente Trabajo Fin de Grado se ha realizado en el Departamento de Fertilizantes y Materia Vegetal perteneciente al mencionado Laboratorio.

Quiero expresar mi especial agradecimiento a las siguientes personas:

A D. Jesús Betrán Aso y a D. Francisco Iguácel Soteras, por aceptar la dirección de este trabajo y por su ayuda, disponibilidad y apoyo durante la realización del mismo.

A Dña. Patro Catalán Cantero, tutora de prácticas, por su disposición y colaboración en el desarrollo del mismo.

A todo el personal del Departamento de Fertilizantes y Materia Vegetal. En particular a Ainhoa Palacios y Azucena López, por su colaboración durante la realización de este trabajo.

Por último, quiero agradecer a mi familia y amigos su constante apoyo a lo largo de mis años de estudio.

RESUMEN

El aumento de la producción de estiércoles y purines en Aragón ha generado un importante problema en cuanto a su gestión. En su aplicación al suelo, existen razones ambientales y normativas que obligan a realizar recomendaciones y valorar las dosis utilizadas, pero eso no resulta siempre sencillo. Parte del problema proviene por la falta de una metodología de muestreo fiable, lo que provoca una caracterización que en muchos casos no refleja la realidad. El uso controlado de los estiércoles y purines con fines agrícolas es la manera natural de aprovecharlos mediante el reciclado de los nutrientes, pero requiere un conocimiento lo más fiable posible del subproducto.

En este Trabajo Fin de Grado se plantea el objetivo principal de establecer una metodología para el muestreo de estiércol de broilers (pollos de carne), que pudiera extenderse también a otros estiércoles, lo que permitiría conocer la concentración de nutrientes para mejorar el reciclado de los mismos mediante su correcto uso como fertilizante agrícola.

Para conseguir los objetivos planteados se ha realizado un muestreo, basado en la norma ISO/DIS 10381, de un acopio de estiércol de broilers con zonas de diferente grado de maduración y con un espesor, habitual en estos acopios, que hace que se puedan encontrar también diferencias entre la parte superficial y la más profunda. Se efectuó el muestreo por separado de las zonas o profundidades con diferencias conocidas o aparentes (antigüedad o aspecto). Posteriormente se llevó a cabo el análisis estadístico de los resultados obtenidos para conocer los valores medios y la variabilidad, así como la evolución de la concentración de los elementos (N total, N-NH₄, P, K, Mg, Ca, Na, M.O. y humedad) a lo largo del espacio y tiempo, y la elaboración de una metodología de muestreo a partir de las incertidumbres dadas en función del número de puntos de toma.

Los resultados reflejan que con una división del acopio por zonas homogéneas y por profundidades (zona externa o seca y zona interna), se requiere de 10 puntos de toma para la zona externa y de 6 puntos de toma para la interna, para obtener una caracterización de (N, P, K) con una incertidumbre global por debajo del 10 %. En la práctica, la incertidumbre introducida por el muestreo es mucho mayor que la de laboratorio.

ABSTRACT

The increase of manure and pig slurry production in Aragón has generated an important problem in terms of its management. In its application to the soil, there are environmental and regulatory reasons which oblige to make recommendations and assess the doses used, but that is not always easy. Part of the problem is due to the lack of a reliable sampling methodology, which causes a characterization that in many cases does not reflect the reality. The controlled use of manure and pig slurry for agricultural purposes is the natural way to take advantage of them, by recycling the nutrients, but this requires knowledge, as reliable as possible, of the sub product.

In this Final Degree Work, the main objective focuses on establishing a methodology for poultry manure (broilers) sampling that could be extended also to other kinds of manure, allowing you to know the concentration of nutrients, in order to improve the recycling of manure through its correct use as an agricultural fertilizer.

To achieve the objectives set before, a sampling of poultry manure supply has been carried out, based on ISO/DIS 10381 regulation. The supply had different maturing areas on it and presented a thickness, common in these supplies, that makes also possible to find differences between the surface and the deepest part. Sampling was made separately from areas or depths with known or apparent differences (age or appearance). Subsequently, the statistical analysis of the results obtained was performed, in order to know the mean values and variability, as well as the evolution of the concentration of the elements (total N, N-NH₄, P, K, Mg, Ca, Ma, M.O. and humidity) over time and space, and the elaboration of a sampling methodology from the uncertainties given based on the number of sampling points.

The results reflect that with a division of the collection by homogeneous areas and depths (external zone or dry and internal zone), it required of 10 taking points for the outer zone and of 6 taking points for the internal zone, in order to obtain a characterization of (N, P, K) with a overall uncertainty below 10%. In practice, the uncertainty inserted by the sampling is much higher than the laboratory.

ÍNDICE

Índice	I
Índice de figuras	IV
Índice de tablas	V
1. Introducción	1
1.1. La importancia de los subproductos orgánicos en Aragón	2
1.2. Normativa sobre uso de subproductos orgánicos, y necesidad de disponer de una caracterización físico-química	6
1.3. La caracterización disponible y su problemática	9
1.4. Normas o técnicas de muestreo existentes para sustancias afines	10
1.5. Antecedentes	11
2. Objetivos	13
3. Material y métodos	14
3.1. Elección de la explotación y del acopio	14
3.1.1. Localización	14
3.2. Muestreo	17
3.3. Preparación de las muestras	22
3.3.1. Molienda en fresco	23
3.3.2. Secado y determinación de humedad	24
3.3.3. Molienda en seco	25
3.3.4. Digestión en microondas y preparación de disoluciones madre	26

3.4. Métodos de análisis	28
3.4.1. Nitrógeno total (N total). (Kjeldahl)	28
3.4.2. Nitrógeno amoniacal (N-NH ₄). (Kjeldahl)	30
3.4.3. Fósforo (P). (Espectofotometría)	30
3.4.4. Potasio (K), hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn) y zinc (Zn). (Absorción atómica)	32
3.4.5. Sodio (Na), magnesio (Mg) y calcio (Ca). (ICP)	34
3.4.6. Materia orgánica (M.O.). (Mufla)	35
3.5. Tratamiento de resultados	36
3.6. Fuentes de información para el balance de nitrógeno	38
4. Resultados	39
4.1. Caracterización y variabilidad	39
4.2. Evolución y variación en profundidad	40
4.2.1. Nitrógeno total y nitrógeno amoniacal	41
4.2.2. Fósforo	42
4.2.3. Potasio	42
4.2.4. Calcio	43
4.2.5. Magnesio	43
4.2.6. Sodio	44
4.2.7. Materia orgánica	44
4.2.8. Humedad	45

4.2.9. Cobre, hierro, manganeso y zinc	45
4.3. Análisis de la metodología de muestreo	45
4.4. Balance de nitrógeno	50
5. Discusión	53
5.1. Resultados medios del estiércol de broiler	53
5.2. Diferencias por profundidad	54
5.3. Diferencias por maduración	55
5.4. Metodología de muestreo	56
5.5. Balance de nitrógeno	57
6. Conclusiones	58
7. Bibliografía	60

Anejos

Anejo I. Caracterización de nitrógeno total y nitrógeno amoniacal

Anejo II. Caracterización de fósforo

Anejo III. Humedad

Anejo IV. Caracterización de potasio

Anejo V. Caracterización de calcio, magnesio y sodio

Anejo VI. Caracterización de cobre, hierro, manganeso y zinc

Anejo VII. Resultados de materia orgánica

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución MOR por tipo de residuos en Aragón, año 2007 (GIRA, 2009)	3
Figura 2. Foto del acopio de estiércol seleccionado	15
Figura 3. Localización del acopio de estiércol. Fuente: https://maps.google.es	16
Figura 4. Localización de la granja de pollos broiler de la que procede el acopio. Fuente: https://maps.google.es	16
Figura 5. Tipos de muestreo a realizar en función de la homogeneidad o heterogeneidad del acopio de estiércol (Saña et al., 1996)	17
Figura 6. Foto de cascarilla de arroz	19
Figura 7. Distribución en el acopio de las diferentes zonas y de la posición de las tomas extraídas	21
Figura 8. Imagen de un perfil durante el muestreo	21
Figura 9. Esquema representativo del desarrollo de la preparación y análisis de las muestras	22
Figura 10. Equipo de destilación Kjeldahl	29
Figura 11. Foto del espectofotómetro	32
Figura 12. Equipo de absorción atómica	33
Figura 13. Equipo de ICP	35
Figura 14. Curva de frecuencias acumulada (Miller et al., 1988)	36
Figura 15. Esquema del balance de nitrógeno y de materia	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Deyecciones en fosa/estercolero (t/año) de estiércol o purín en la Comunidad Autónoma de Aragón para el año 2007 (GIRA, 2009)	4
Tabla 2. Nitrógeno en fosa/estercolero (kg/año) en la Comunidad Autónoma de Aragón para el año 2007 (GIRA, 2009)	5
Tabla 3. Valores medios de contenido de nitrógeno en diferentes productos orgánicos de origen animal. Resultados de materia seca (%), y de nitrógeno total (N, kg/t) (NABAU, C. et al., 2008)	9
Tabla 4. Valores medios de contenido de nitrógeno en diferentes productos orgánicos de origen animal. Resultados de materia seca (%), y de nitrógeno total (N, kg/t) (ABALGAR, A. et al., 2010) citando a INTIA.	9
Tabla 5. Valores medios de contenido de nitrógeno en diferentes productos orgánicos de origen animal. Resultados de materia seca (%), y de nitrógeno total (N, kg/t) (ABALGAR, A. et al., 2010) citando a ITAVI.	10
Tabla 6. Resultados de media y desviación estándar obtenidos del muestreo de la zona A para nitrógeno total (N), nitrógeno amoniacial (N-NH ₄), fósforo (P ₂ O ₅) y potasio (K ₂ O). En (kg/t) sobre materia seca y por profundidad (cm)	39
Tabla 7. Resultados de media y desviación estándar obtenidos del muestreo de la zona A para calcio (Ca), magnesio (Mg) y sodio (Na). En (kg/t) sobre materia seca y por profundidad (cm)	40
Tabla 8. Efecto del tiempo de maduración del estiércol sobre la concentración de nitrógeno total (N, kg/t) en superficie y parte interna del acopio de estiércol. Resultados medios expresados sobre materia seca (método Kjeldahl)	41
Tabla 9. Efecto del tiempo de maduración del estiércol sobre la concentración de nitrógeno total evaluado en dos perfiles próximos al frente del acopio (N, kg/t). Resultados expresados sobre materia seca (método Kjeldahl)	41

Tabla 10. Efecto tiempo de maduración del estiércol sobre la concentración de nitrógeno amoniacal (N-NH_4 , kg/t) en superficie y parte interna del acopio de estiércol. Resultados medios expresados sobre materia seca (método Kjeldahl)	41
Tabla 11. Efecto tiempo de maduración del estiércol sobre la concentración de nitrógeno amoniacal evaluado en dos perfiles próximos al frente del acopio (N-NH_4 , kg/t). Resultados expresados sobre materia seca (método Kjeldahl)	41
Tabla 12. Efecto tiempo de maduración del estiércol sobre la concentración de fósforo (P_2O_5 , kg/t) en superficie y parte interna del acopio de estiércol. Resultados medios expresados sobre materia seca (espectrofotometría)	42
Tabla 13. Efecto tiempo de maduración del estiércol sobre la concentración de fósforo evaluado en dos perfiles próximos al frente del acopio (P_2O_5 , kg/t). Resultados expresados sobre materia seca (espectrofotometría)	42
Tabla 14. Efecto tiempo de maduración del estiércol sobre la concentración de potasio (K_2O , kg/t) en superficie y parte interna del acopio de estiércol. Resultados medios expresados sobre materia seca (absorción atómica)	42
Tabla 15. Efecto tiempo de maduración del estiércol sobre la concentración de potasio evaluado en dos perfiles próximos al frente del acopio (K_2O , kg/t). Resultados expresados sobre materia seca (absorción atómica)	42
Tabla 16. Efecto tiempo de maduración del estiércol sobre la concentración de calcio (CaO , kg/t) en superficie y parte interna del acopio de estiércol. Resultados medios expresados sobre materia seca (ICP)	43
Tabla 17. Efecto tiempo de maduración del estiércol sobre la concentración de calcio evaluado en dos perfiles próximos al frente del acopio (CaO , kg/t). Resultados expresados sobre materia seca (ICP)	43
Tabla 18. Efecto tiempo de maduración del estiércol sobre la concentración de magnesio (MgO , kg/t) en superficie y parte interna del acopio de estiércol. Resultados medios expresados sobre materia seca (ICP)	43

Tabla 19. Efecto tiempo de maduración del estiércol sobre la concentración de magnesio evaluado en dos perfiles al frente del acopio (MgO, kg/t). Resultados expresados sobre materia seca (ICP)	43
Tabla 20. Efecto tiempo de maduración del estiércol sobre la concentración de sodio (Na, kg/t) en superficie y parte interna del acopio de estiércol. Resultados medios expresados sobre materia seca (ICP)	44
Tabla 21. Efecto tiempo de maduración del estiércol sobre la concentración de sodio evaluado en dos perfiles al frente del acopio (Na, kg/t). Resultados expresados sobre materia seca (ICP)	44
Tabla 22. Efecto tiempo de maduración del estiércol sobre la concentración de materia orgánica (% M.O.) en superficie y parte interna del acopio de estiércol	44
Tabla 23. Efecto tiempo de maduración del estiércol sobre la concentración de materia orgánica (% M.O.) evaluado en dos perfiles al frente del acopio	44
Tabla 24. Efecto tiempo de maduración del estiércol sobre la concentración de humedad (% H ₂ O) en superficie y parte interna del acopio de estiércol. Resultados medios sobre materia fresca	45
Tabla 25. Efecto tiempo de maduración del estiércol sobre la concentración de humedad (% H ₂ O) evaluado en dos perfiles al frente del acopio. Resultados expresados sobre materia fresca	45
Tabla 26. Incertidumbre debida al muestreo, en diferentes condiciones de intensidad de muestreo (número de puntos de muestreo por muestra compuesta). Resultados de media e incertidumbre absoluta expresados en (N, kg/t) y sobre materia seca, e incertidumbre relativa expresada en (%)	46
Tabla 27. Incertidumbre debida al muestreo, en diferentes condiciones de intensidad de muestreo (número de puntos de muestreo por muestra compuesta). Resultados de media e incertidumbre absoluta expresados en (N-NH ₄ , kg/t) y sobre materia seca, e incertidumbre relativa expresada en (%)	46

Tabla 28. Incertidumbre debida al muestreo, en diferentes condiciones de intensidad de muestreo (número de puntos de muestreo por muestra compuesta). Resultados de media e incertidumbre absoluta expresados en (P_2O_5 , kg/t) y sobre materia seca, e incertidumbre relativa expresada en (%)	47
Tabla 29. Incertidumbre debida al muestreo, en diferentes condiciones de intensidad de muestreo (número de puntos de muestreo por muestra compuesta). Resultados de media e incertidumbre absoluta expresados en (K_2O , kg/t) y sobre materia seca, e incertidumbre relativa expresada en (%)	47
Tabla 30. Incertidumbre debida al muestreo, en diferentes condiciones de intensidad de muestreo (número de puntos de muestreo por muestra compuesta). Resultados de media e incertidumbre absoluta expresados en (CaO , kg/t) y sobre materia seca, e incertidumbre relativa expresada en (%)	48
Tabla 31. Incertidumbre debida al muestreo, en diferentes condiciones de intensidad de muestreo (número de puntos de muestreo por muestra compuesta). Resultados de media e incertidumbre absoluta expresados en (MgO , kg/t) y sobre materia seca, e incertidumbre relativa expresada en (%)	48
Tabla 32. Incertidumbre debida al muestreo, en diferentes condiciones de intensidad de muestreo (número de puntos de muestreo por muestra compuesta). Resultados de media e incertidumbre absoluta expresados en (Na, kg/t) y sobre materia seca, e incertidumbre relativa expresada en (%)	49
Tabla 33. Tabla resumen. Incertidumbre introducida por número de puntos de muestreo (%). Profundidad 0-30 cm	49
Tabla 34. Tabla resumen. Incertidumbre introducida por número de puntos de muestreo (%). Profundidad 30-60 cm	49
Tabla 35. Balance de nitrógeno (kg de N)	52
Tabla 36. Contenidos medios para Humedad y Materia Orgánica (%), y para N total, N-NH ₄ , P ₂ O ₅ , K ₂ O, CaO, MgO y Na (kg/t), por profundidades (cm)	59

1. INTRODUCCIÓN:

En el proceso de evolución de la ganadería, durante la segunda mitad del siglo pasado en los países occidentales se produjeron cambios importantes; de una situación basada en el aprovechamiento de pastos, generalmente por especies rumiantes y una explotación doméstica de monogástricos, se ha pasado a otra de intensificación ganadera.

En aquella fase anterior, las producciones ganaderas se consumían en el ámbito familiar o en la distribución local o “de proximidad”. No existían grandes explotaciones, cada familia tenía su propio corral y sus propias fincas en las que utilizaba el estiércol generado como abono orgánico.

Con el aumento del poder adquisitivo se produjo un incremento de la demanda de proteínas de origen animal (carne, leche y huevos), que se ha satisfecho con la industrialización de la ganadería, principalmente de monogástricos (porcino y aves). Este fenómeno también se está desarrollando en el momento actual en países emergentes.

España, con 138.097.898 plazas de producción de broilers (pollo comercial de carne de peso aproximado de 2,7 kg), y una producción aproximada de 570 millones de kg de carne de pollo, es el segundo país productor de la UE. En Aragón se produce el 11,1 % del total nacional (Sección de Estadística del Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente, 2010).

Esta producción se obtiene de forma muy intensiva en naves “industrializadas”, que conlleva la estabulación completa, la adecuación de la temperatura, luz y humedad a las condiciones óptimas para el animal, y permite la mecanización del aporte de agua y alimentación. Se consigue así una producción máxima en el menor tiempo. Con estos sistemas intensivos se han desarrollado la ganadería de porcino y la avicultura, generalmente en explotaciones de gran tamaño y muy tecnificadas. Como es lógico, el volumen de estiércol, al igual que el de carne, se ha multiplicado en los últimos años, produciéndose riesgos para el aire en forma de emisiones o al agua por lixiviados.

La importancia que han adquirido los aspectos medioambientales relacionados con la agricultura y la ganadería ha promovido una mejora en la gestión de los

subproductos orgánicos, favoreciéndose la utilización agrícola como fertilizantes, de un modo que permita preservar el medio ambiente.

El empleo como fertilizante orgánico de los cultivos es la salida “natural” de los estiércoles. En concreto, el de broiler con cama, por sus características y riqueza en nutrientes para las plantas, puede ser muy interesante. Para poder dosificarlo en la aplicación al suelo se debe conocer mediante análisis sus principales componentes: humedad, materia orgánica, nitrógeno total, nitrógeno amoniacal, fósforo, potasio, etc., lógicamente tomando una muestra representativa.

Actualmente no existe ninguna pauta normalizada para los muestreos de estiércol, lo que conduce a que las caracterizaciones que se hacen en el laboratorio no tengan una representatividad adecuada, y los datos de composición puede que no siempre reflejen bien la realidad porque en muchos casos las muestras tomadas no son totalmente representativas. En este trabajo se pretende establecer una metodología para el muestreo de estiércol de broiler, que pudiera extenderse también a otros estiércoles, lo que permitiría conocer la composición en nutrientes para mejorar el reciclado de los mismos mediante su correcto uso como fertilizante agrícola.

Un objetivo esencial de uso de los estiércoles con fines fertilizantes es el aprovechamiento del nitrógeno. En este trabajo se presta especial atención a este elemento y se cuantifica su participación en las distintas fases productivas en el cebo de broiler.

1.1. LA IMPORTANCIA DE LOS SUBPRODUCTOS ORGÁNICOS EN ARAGÓN

En Aragón, al igual que a nivel nacional, las nuevas técnicas de cría han generado un incremento en el número de animales y en la cantidad de estiércol producido.

A partir del Plan de Gestión Integral de Residuos de Aragón (GIRA) de 2005 la materia orgánica residual (MOR) se divide en tres programas: estiércoles y purines, lodos de EDAR, y residuos urbanos. Dentro de la MOR, en el apartado de estiércoles y purines, la producción de éstos en la Comunidad Autónoma de Aragón en el año 2007 asciende a 15.267.283 toneladas, según datos del Gobierno de Aragón (GIRA, 2009).

En el diagrama circular de la figura 1, además de las tres divisiones ya mencionadas dentro de la MOR, aparecen cinco nuevas. Dos de ellas provienen de la división de los lodos de EDAR en lodos de depuradoras urbanas y lodos de depuradoras industriales. Las otras tres están formadas por residuos agrícolas, residuos forestales y otros residuos biodegradables.

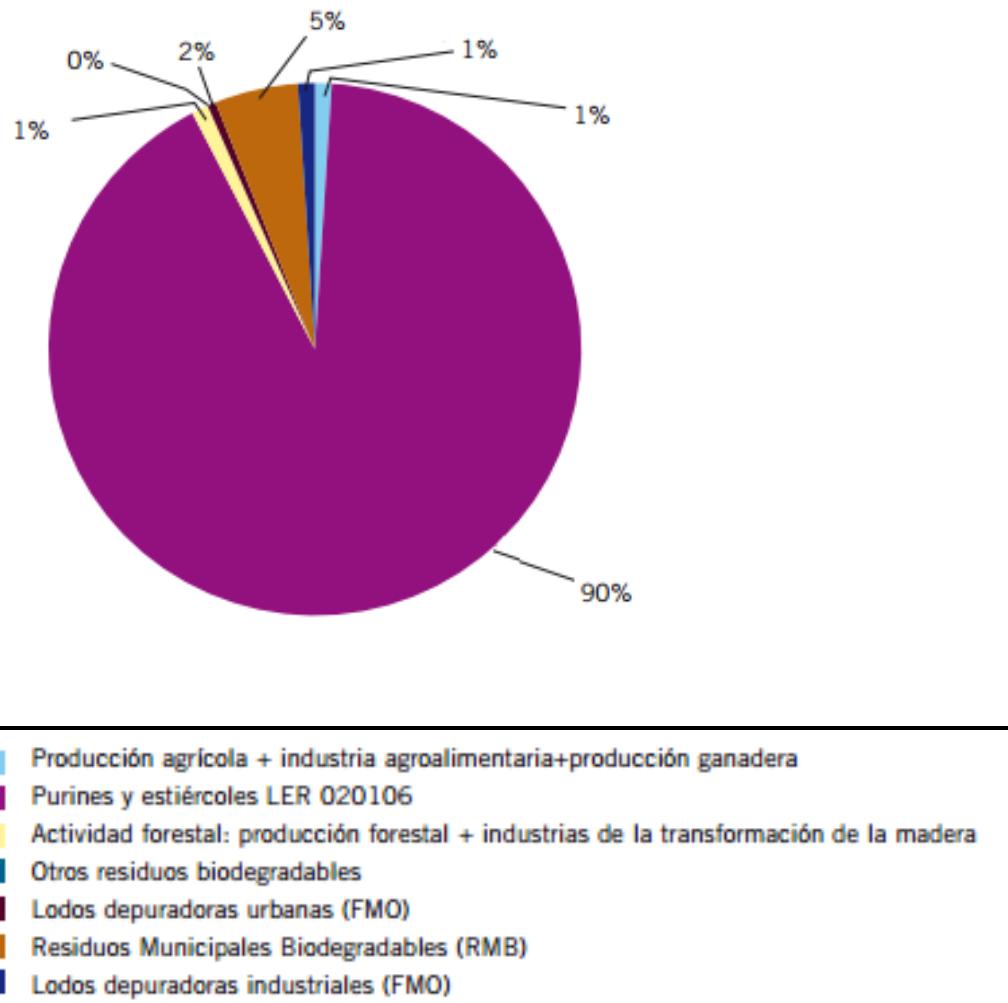


Figura 1. Distribución MOR por tipo de residuos en Aragón, año 2007 (GIRA, 2009).

Como se aprecia en la figura 1, la distribución de la MOR en la Comunidad Autónoma de Aragón está dominada por los purines y estiércoles, que abarcan un 90% de la misma, reflejando la importancia del sector ganadero en Aragón. Otras Comunidades autónomas pueden tener un peso de MOR agrícola similar como la de La

Rioja, con un 91 % de residuos agrícolas y ganaderos según el Plan Director de Residuos de La Rioja, 2007-2015 (PDRLR, 2007). El 90 % de los residuos orgánicos de Aragón proceden únicamente de la ganadería, en cambio en La Rioja este tipo de residuos supone el 91 % del total, pero en este caso se estima que el 46 % (PDRLR, 2007), proviene del cultivo del champiñón y del vitivinícola. Por lo tanto la fracción de MOR de la ganadería riojana se encuentra entorno al 50 % del total, quedando así reflejada la importancia de la producción de subproductos ganaderos en Aragón.

Dentro de las cantidades contenidas en las tablas 1 y 2 habría que diferenciar, por manejo y por concentración de nutrientes y homogeneidad, entre estiércoles sólidos y estiércoles líquidos o purines. Se engloban en estiércoles sólidos los procedentes del ganado ovino, bovino, caprino y avícola, mientras que entre los estiércoles líquidos la inmensa mayoría se encuentran en los procedentes de la ganadería porcina.

Deyecciones en fosa/estercolero					
Provincia	Porcino	Bovino	Ovino-caprino	Avícola	Total
Huesca	5.339.170	1.030.678	228.170	556.437	7.154.455
Zaragoza	4.107.215	440.533	328.178	575.219	5.451.145
Teruel	2.104.807	138.018	229.698	189.160	2.661.683
Total Aragón	11.551.192	2.314.249	786.046	1.320.816	15.267.283

Tabla 1. Deyecciones en fosa/estercolero (t/año) de estiércol o purín en la Comunidad Autónoma de Aragón para el año 2007 (GIRA, 2009).

Huesca es la provincia con más carga ganadera de Aragón. En los datos de la tabla 1 se observa que representa casi el 50 % de las deyecciones en fosa, destacando en la producción de purines de porcino y en la de estiércoles en el ganado bovino.

En cuanto al estiércol procedente de la producción avícola destaca la provincia de Zaragoza que aventaja por muy poco a la de Huesca. En los datos publicados en el anterior GIRA (2005-2008) figura que la provincia de Zaragoza, en cuanto a la avicultura, generaba 539.002 t/año de estiércol mientras que la provincia de Huesca generaba 314.407 t/año (GIRA, 2005), por lo que el crecimiento de la provincia oscense

ha sido importante en los últimos 5 años y actualmente ya podría ser la primera provincia a nivel autonómico, mientras que Zaragoza mantiene el número de plazas con respecto a los últimos 5 años.

Nitrógeno en fosa/estercolero					
Provincia	Porcino	Bovino	Ovino-caprino	Avícola	Total
Huesca	17.582.743	4.775.472	2.369.728	7.770.933	32.498.876
Zaragoza	13.242.447	2.062.054	3.408.385	8.033.222	26.746.108
Teruel	6.859.717	636.283	2.385.595	2.641.722	12.523.317
Total Aragón	37.684.907	7.473.809	8.163.709	18.445.877	71.768.301

Tabla 2. Nitrógeno en fosa/estercolero (kg/año) en la Comunidad Autónoma de Aragón para el año 2007 (GIRA, 2009).

En la generación de nitrógeno (tabla 2), al igual que en la de deyecciones (tabla 1), los purines representan cuantitativamente la fracción más importante dentro de los subproductos orgánicos de origen animal. En cambio el ganado bovino pasa del segundo al cuarto lugar en este ámbito, demostrando que la cantidad de nitrógeno en dicho estiércol es bastante inferior a la del ganado ovino-caprino y avícola.

El contenido de nitrógeno marca una clara diferencia en la importancia económica e interés para su uso agrícola. El nitrógeno es el elemento más costoso en los fertilizantes minerales, y es también el elemento que produce un efecto más notable en el rendimiento de los cultivos. Por ello, los estiércoles con mayor valor económico coinciden con aquellos en los que la cantidad de nitrógeno es mayor. El problema es que la producción de estiércoles no se adapta ni en el tiempo ni en el espacio a la demanda de la agricultura, ya que depende de los ciclos de la ganadería. Además los costes por desplazamiento hacen que en muchos casos no sea rentable el acceso a estiércoles, y que el ganadero tenga que buscar soluciones a sus subproductos mientras el agricultor dispone únicamente de fertilizantes minerales.

1.2. NORMATIVA SOBRE USO DE SUBPRODUCTOS ORGÁNICOS, Y NECESIDAD DE DISPONER DE UNA CARACTERIZACIÓN FÍSICO- QUÍMICA

La definición de residuo dada en la Directiva 2006/12/CE (Directiva marco sobre residuos) ha generado algunos problemas en su interpretación. Como ocurre en el caso de los estiércoles, citados como subproductos pero sin especificar si se clasifican como residuo o como no residuo.

Sin embargo, a efectos de la aplicación de la legislación ambiental, es necesario delimitar claramente, en cada caso, las dos situaciones jurídicas: residuos o no residuos. Es esta distinción la que determina que legislación es aplicable.

En la Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo (Bruselas 21/02/2007), basada en la Sentencia del Tribunal de Justicia de Luxemburgo, se pone fin al relativismo generado en el ámbito de los residuos con respecto a los estiércoles, y dice textualmente que “*En los asuntos acumulados C-416/02 y C-121/03, Comisión contra España, el Tribunal de Justicia sostuvo que el estiércol no se considerará residuo si se utiliza como abono en el marco de una práctica legal de aplicación en terrenos bien identificados (independientemente de si los terrenos están dentro o fuera de la misma explotación agraria que ha generado el estiércol) y si su almacenamiento se limita a las necesidades de tales operaciones de abono*”.

Con posterioridad a esta Comunicación, el estiércol se considera como subproducto reutilizable en la fertilización orgánica de los terrenos cultivados, y solamente sería contemplado como residuo si se hace un mal uso de él.

Los estiércoles están sujetos a la normativa referente a los subproductos animales no destinados al consumo humano, SANDACH en lo sucesivo. La normativa de aplicación a nivel europeo está contenida en el Reglamento (CE) Nº 1069/2009, del Parlamento Europeo y del Consejo y el Reglamento (UE) Nº 142/2011, de la Comisión, constituyen desde el 4 de marzo de 2011. En España el Real Decreto 1528/2012 estableció las condiciones de aplicación de la normativa comunitaria sobre SANDACH.

La gestión de los subproductos de origen animal (SANDACH) desde el momento en que se generan hasta su uso final, valorización o destrucción está regulada para garantizar que durante la misma no se generan riesgos para la salud humana, la sanidad animal o el medio ambiente y especialmente para garantizar la seguridad de la cadena alimentaria humana y animal.

A nivel europeo la normativa que regula y limita el uso de los estiércoles y purines como fertilizantes, a partir de la cual desciende el resto de la normativa estatal y autonómica, es la Directiva 91/676/CEE relativa a la protección de las aguas contra la contaminación difusa producida por nitratos procedentes de fuentes agrarias.

La Directiva 91/676/CEE tiene como objetivos fundamentales establecer las medidas necesarias para prevenir y corregir la contaminación de las aguas, continentales y litorales, causada por los nitratos de origen agrario.

A nivel Estatal la norma que se encarga de regular el uso de estiércoles es el Real Decreto 261/1996, de 16 de febrero sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias.

La normativa aragonesa sobre el uso de estiércoles se encuentra básicamente en la revisión de las Directrices Sectoriales sobre actividades e instalaciones ganaderas (Decreto 94/2009), en el Código de Buenas Prácticas Agrarias (Decreto 77/1997) y en el IV Programa de Actuación sobre las Zonas Vulnerables de Aragón (Orden de 18 de septiembre de 2013), estos dos últimos con una incidencia especialmente significativa en los regadíos declarados como ZZVV (Orden de 10 de septiembre de 2013). También hay que tener en cuenta algunas referencias recogidas en la Normativa de la Producción integrada (Orden de 11 de mayo de 2007).

Las cantidades máximas de estiércol aplicables se establecen en la Directiva 91/676/CEE y permanecen invariables conforme las normas se transponen a nivel nacional y autonómico. Pero, pese a no variar las cantidades, a menudo la normativa aragonesa, más específica que la nacional y comunitaria en lo que respecta a la gestión de los estiércoles, establece criterios adicionales en sus programas de actuación.

A nivel de gestión y de dosis de aplicación, en el territorio de Aragón en general el uso de fertilizantes orgánicos está sujeto a las normas generales de las Directrices

Sectoriales, que establecen el límite superior de utilización del estiércol, a razón del equivalente de 210 kg/ha de nitrógeno, la superficie agrícola a disponer o concertar para reciclar los estiércoles de las explotaciones ganaderas, dentro de una distancia límite desde la granja (hasta 25 km, o la distancia autorizada al gestor de estiércoles, si fuera el caso) y la duración del compromiso de recibirlos, un mínimo de 8 años (actualmente en revisión). También las condiciones de aplicación de los estiércoles (distancias, enterrado, etc.).

Más restrictiva es la norma aplicable en las “Zonas Vulnerables”, en las que se admite un máximo del equivalente de 170 kg/ha de nitrógeno de origen orgánico, completando con nitrógeno mineral cuando las necesidades superan ese máximo, (incluso, practicando un doble cultivo), e indicando igualmente, que si las necesidades de N están por debajo de 170 kg/ha de nitrógeno, el aporte de estiércoles u orgánicos se ajustará a esas necesidades inferiores. La superficie de ZZVV ha sido incrementada considerablemente en la Orden de 18 de septiembre de 2013.

Sobre cualquiera de los ámbitos geográficos citados cabe la aplicación de exigencias adicionales derivadas de sistemas de manejo del cultivo o de producciones de calidad diferenciada, por ejemplo producción integrada, producción ecológica, etc.

El reciclado de estiércol a través de su uso como fertilizante dependerá de la situación normativa en que se encuentren las explotaciones agrícolas receptoras. En cualquier caso, desde la consideración ambiental, la demanda de nutrientes por parte de los cultivos es la que debe determinar la dosis máxima de aplicación.

Para aplicar cualquiera de estas normas de uso se requiere el conocimiento del subproducto, al menos en cuanto a sus parámetros fundamentales (riqueza de nutrientes, humedad, M.O.). También desde el simple punto de vista de la adecuada gestión de nutrientes se requieren esos valores.

Los subproductos que no cumplan con los requisitos establecidos, y se califiquen como residuos, quedarían sujetos a la Ley 22/2011 de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.

Las explotaciones que requieren Autorización Ambiental Integrada (AAI), más de 40.000 plazas de gallinas de puesta o su equivalente en ganadería avícola, 2000

emplazamientos de cerdos de cría o 750 plazas de cerdas de cría, deben disponer de suelo cultivado para distribuir los subproductos. Tan sólo las explotaciones de gran tamaño, unas pocas en Aragón, deben cumplir con el Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero (Ley de Evaluación de Impacto Ambiental) y la modificación de la misma por la Ley 6/2010, de 24 de marzo.

1.3. LA CARACTERIZACIÓN DISPONIBLE Y SU PROBLEMÁTICA

La necesidad de disponer de valores de referencia para usar la gran diversidad de subproductos existentes ha llevado a generar un elevado número de tablas de valores para los estiércoles de diferentes especies animales. Con frecuencia las referencias existentes ofrecen una considerable dispersión de valores. Sirvan como ejemplo datos de las tablas 3, 4 y 5.

GESFER		
Producto orgánico	Materia seca	Nitrógeno total
Purín ciclo cerrado	4,4	4,7
Gallinaza	61,8	43,1
Estiércol de conejo	24,7	8,7

Tabla 3. Valores medios de contenido de nitrógeno en diferentes productos orgánicos de origen animal.

Resultados de materia seca (%), y de nitrógeno total (N, kg/t) (NABAU, C. et al., 2008)

INTIA		
Producto orgánico	Materia seca	Nitrógeno total
Gallinaza presecada	40	22
Gallinaza sólida húmeda	25	15
Gallinaza líquida	14,5	8,4

Tabla 4. Valores medios de contenido de nitrógeno en diferentes productos orgánicos de origen animal.

Resultados de materia seca (%), y de nitrógeno total (N, kg/t) (ABALGAR, A. et al., 2010) citando a INTIA.

ITAVI		
Producto orgánico	Materia seca	Nitrógeno total
Gallinaza	85	40

Tabla 5. Valores medios de contenido de nitrógeno en diferentes productos orgánicos de origen animal.

Resultados de materia seca (%), y de nitrógeno total (N, kg/t) (ABALGAR, A. et al., 2010) citando a ITAVI.

A la vista de las tablas 3, 4 y 5, en la columna “producto orgánico” se comprueba los distintos términos con los que se puede definir un mismo producto. Sin concretar si el término “gallinaza” se refiere a las deyecciones de gallinas de puesta o al estiércol con cama de cebo de pollos. Esto podría explicar la variabilidad de los resultados en materia seca y nitrógeno total.

La dispersión de resultados expuesta induce a pensar en la representatividad de las técnicas de muestreo. En las tablas expuestas y en la bibliografía consultada tampoco aparece la homogeneidad de los lotes ni la técnica de muestreo.

En el trabajo que se presenta se refiere exclusivamente al estiércol sólido con cama de cebo de pollo “broiler”.

1.4. NORMAS O TÉCNICAS DE MUESTREO EXISTENTES PARA SUSTANCIAS AFINES

Buscando normas de muestreo que pudieran aplicarse por “asimilación” a los subproductos ganaderos se encuentran las recomendaciones y normativa sobre muestreo de suelos. Existe en este caso una norma ISO, la ISO/DIS 10381 “Calidad de suelo. Muestreo” que es de aplicación a muestreos agrícolas.

En el muestreo de suelos para reconocimiento del estado de fertilidad, con fines de abonado, se recomienda en general el uso de muestras compuestas de varios puntos individuales que luego se mezclan y homogenizan. En general se recomienda la toma de un mínimo de 8 puntos individuales para obtener un error en el resultado de nitratos que sea aceptable para el uso habitual (Betrán et al., 2011).

Las muestras compuestas se requieren en los casos en los que hay que determinar la concentración media de una sustancia en un horizonte/capa definido. Las

muestras simples en aquellos casos en que se requiere conocer la distribución de una sustancia en una zona definida o en función de la profundidad (ISO/DIS 10381-1).

En la mayor parte de las directrices sobre muestreo para estudios agrícolas o similares se recomienda que las muestras compuestas se recojan tomando varias porciones y combinándolas para formar una muestra compuesta (ISO/DIS 10381-1).

1.5. ANTECEDENTES

El Laboratorio Agroambiental y el Centro de Transferencia Agroalimentaria, del Gobierno de Aragón trabajan en el conocimiento de los subproductos de origen ganadero y la divulgación de las técnicas de aprovechamiento.

El Laboratorio trabaja sobre muestra proporcionada por el cliente, al que en ocasiones se le dan recomendaciones sobre la obtención de muestra, y desconoce cuál es la incertidumbre que el muestreo introduce en la determinación de nitrógeno y del resto de los parámetros imprescindibles para la aplicación como fertilizante. Si bien es cierto que el muestreo queda fuera de la responsabilidad del Laboratorio, interesa conocer cuál es la variabilidad que puede introducir en el resultado para poder mejorar las recomendaciones y tener un juicio más ajustado sobre el valor del resultado.

A menudo la divulgación y la evaluación de la gestión de estos subproductos tropieza con la dificultad de proponer unas cifras de referencia que se ajusten a la realidad.

También se encuentra la dificultad de caracterizar un subproducto concreto por medio de análisis, debido básicamente a:

- La heterogeneidad entre lotes o partidas de subproducto.
- La variabilidad que presenta un parámetro dentro de un mismo lote de subproducto.
- La dificultad de muestrear adecuadamente un acopio de grandes dimensiones.
- La evolución temporal de los nutrientes en los acopios.

Por estas razones la Consejería de Agricultura del Gobierno de Aragón se plantea obtener información sobre estos aspectos en las condiciones propias de Aragón. Tanto para facilitar referencias fiables a quienes deben cumplir la normativa como para proporcionar algunas normas a aquellos que quieren caracterizar los subproductos que generan. De esa necesidad surge la idea de este proyecto.

Desde diferentes ámbitos de la Administración (Comunidad Europea, Estado, CCAA) se intenta racionalizar el uso de subproductos ganaderos, habiendo múltiples normas de carácter ambiental en este sentido (ZZVV, Código de Buenas Prácticas, Planes de Actuación...).

La Administración debe establecer unos criterios de aprovechamiento agronómico de estos subproductos y recomendaciones al agricultor. A menudo el cumplimiento de estas normas y su valoración choca con la dificultad de asignar contenidos de nutrientes, o simplemente proponer metodologías o criterios para determinar esos contenidos en cada caso.

2. OBJETIVOS

El principal objetivo de este Trabajo Fin de Grado es establecer una técnica de muestreo de estiércol de broiler que otorgue tanto al productor (ganadero) como al comprador o usuario (agricultor) una garantía de que la muestra es representativa y que el resultado obtenido se asemeja lo más posible a la realidad de los contenidos del subproducto a utilizar. Se obtendría así un beneficio en cuanto a la reducción de residuos y la preservación del medio ambiente, facilitando al agricultor el cumplimiento de las buenas prácticas agrarias y la reducción en la contaminación de aguas subterráneas y suelos que podría originar un abonado excesivo.

Este objetivo general requiere plantearse una serie de objetivos secundarios:

- Caracterizar el subproducto ganadero con establecimiento de valores centrales y del grado de dispersión para las diferentes propiedades de interés en el uso agrícola.
- Conocer la variabilidad del producto, tanto en diferentes puntos del acopio como en diferentes profundidades.
- Establecer posibles diferencias según tiempo de acopio en condiciones habituales de conservación.

El planteamiento general del trabajo requerirá caracterizar de forma muy completa una explotación ganadera en cuanto a los nutrientes eliminados como subproducto. Esto permite plantearse un objetivo adicional, que es intentar cerrar el balance de nitrógeno en el ciclo productivo. Para ello habrá que complementar los resultados de caracterización del estiércol con toda la información posible sobre alimentación y producciones.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

Para alcanzar los objetivos planteados en el trabajo se requiere:

- Disponer de una explotación ganadera en la que puedan obtenerse el mayor número de datos posibles sobre todo el ciclo de la cría de broilers y sobre la producción de estiércol.
- Disponer de un acopio de estiércol bien definido y con una antigüedad conocida.
- Muestrear de modo que se pueda obtener información sobre valores centrales y dispersión de la concentración de nutrientes y otras propiedades.
- Preparar las muestras de modo que sea factible el análisis posterior y se consiga una correcta homogeneización.
- Analizar sobre las muestras los parámetros que caractericen suficientemente el subproducto ganadero.

3.1. ELECCIÓN DE LA EXPLOTACIÓN Y DEL ACOPIO

A la hora de elegir el acopio y la explotación sobre los que desarrollar el trabajo hay que tener en cuenta la necesidad de disponer de una explotación ganadera que pueda ofrecer datos fiables y completos sobre la cría de broilers y la producción de estiércol. Además, que dicho ganadero disponga de uno o varios acopios con diferente maduración y que se encuentren bien datados.

Por último, es necesario el permiso del ganadero para el muestreo del acopio, su posterior análisis y su disposición para facilitar todos los datos adicionales o muestras de material de partida. Se disponía para ello de algunas opciones entre las que se ha elegido a un ganadero de Montaña, de cuya explotación se analiza un acopio de estiércol en una parcela próxima.

3.1.1. Localización

Se dispone de un acopio de estiércol procedente de una nave de cría de pollos broiler. Con la intención de reproducir unas condiciones de muestreo semejantes a la

realidad, se ha tomado un acopio de estiércol representativo, formado por tres zonas o porciones de diferentes edades aparentemente homogéneas.

El acopio seleccionado se encuentra en la parte central de una parcela de uso agrícola, evitando la proximidad a los márgenes de la misma y con ello la alteración de las características físico-químicas del estiércol. En ésta no se aprecian interacciones por riego, abonado, pesticidas, etc. con las parcelas cercanas.



Figura 2. Foto del acopio de estiércol seleccionado.

El acopio se encuentra ubicado en una finca dentro del término municipal de La Puebla de Alfindén, mientras que la nave de cría está ubicada en el término municipal de Zaragoza, concretamente entre los barrios rurales de Montañaña y Peñaflor.

La parcela dedicada al almacenamiento temporal de estiércol ocupa una superficie de 3.800 m² de los cuales el acopio abarca aproximadamente 700 m² (17 x 41 m). Dicha parcela es la número 92, recinto 1, del polígono 7 del catastro municipal de La Puebla de Alfindén.

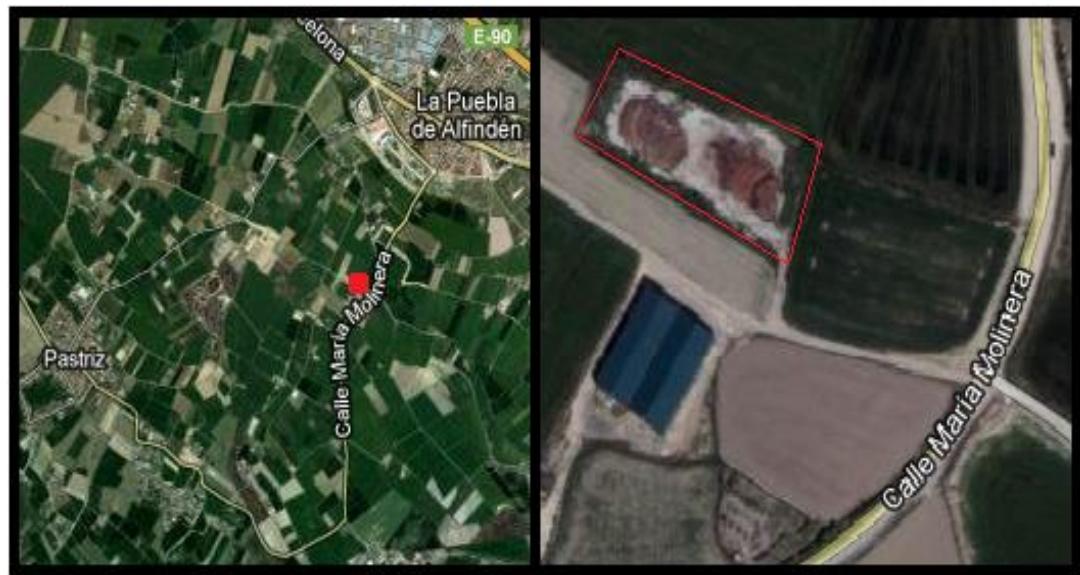


Figura 3. Localización del acopio de estiércol. Fuente: <https://maps.google.es>.

La granja se ubica en una parcela de 8.788,64 m². La nave tiene una superficie construida de 1.100 m² y una capacidad de 20.000 pollos broiler. Esta parcela es la número 138, recinto 7, del polígono 28 del catastro municipal de Zaragoza.

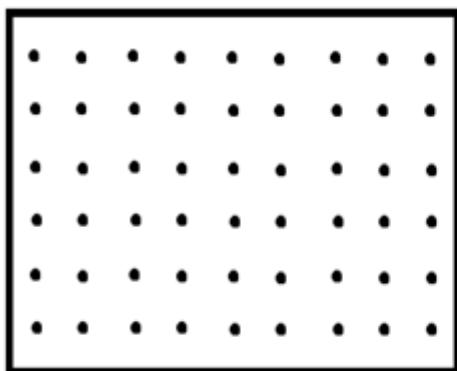


Figura 4. Localización de la granja de pollos broiler de la que procede el acopio. Fuente: <https://maps.google.es>.

3.2. MUESTREO

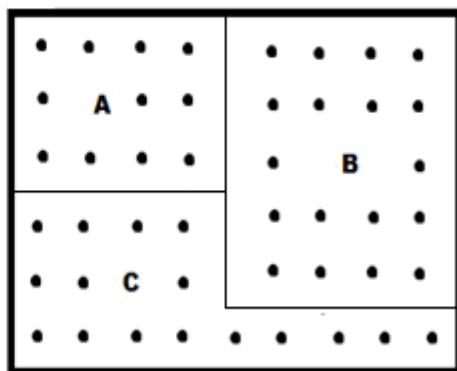
La metodología de muestreo a utilizar varía en función de la homogeneidad o heterogeneidad dentro de la población a representar. En general se recurre a la muestra compuesta y en la elección de los puntos de toma de muestra se lleva a cabo un muestreo sistemático regular cuando existe homogeneidad, en el caso contrario el muestreo se dirige separando primero zonas que presentan diferencias entre sí (edad, aspecto...). En este caso se pretende caracterizar la variabilidad en acopios aparentemente homogéneos.

Caso A



Heterogeneidad no aparente (sistemático regular)

Caso B



Heterogeneidad aparente (muestreo por zonas)

Figura 5. Tipos de muestreo a realizar en función de la homogeneidad o heterogeneidad del acopio de estiércol (Saña et al., 1996).

En el caso A no se requiere la división en subzonas debido a que no existe ninguna diferencia aparente. En el caso B es necesaria la división de la zona de muestreo en subzonas.

Aunque muchos de los análisis normalizados apenas requieren unos pocos gramos de estiércol, normalmente en la rutina de muestreo suelen requerirse muestras de en torno a 1 kg para garantizar la homogeneidad y la representatividad de la muestra. Una vez homogeneizadas cuidadosamente, mezclando bien el material y moliendo o secando si es necesario, sirven de base para la obtención de alícuotas en el laboratorio. De esta manera se asegura el tamaño suficiente para realizar diferentes determinaciones con garantía de homogeneidad y de mayor representatividad que con una muestra reducida.

Debe tenerse en cuenta que algunas propiedades no perceptibles en campo pueden también experimentar variaciones laterales o con la profundidad. Por ello resulta prudente subdividir en dos los acopios de gran espesor (más de 50 cm) aunque aparentemente sean homogéneos, tomando submuestras de acuerdo con esa división (Hodgson J. M., 1987).

Material necesario:

- Bandejas de plástico, bolsas y etiquetas
- Cuaderno de campo y bolígrafo
- Barrena
- Dos cintas métricas
- Azada
- Calzas y guantes
- Cámara fotográfica (opcional)

Procedimiento:

Todo el procedimiento de muestreo, transporte y almacenamiento de las muestras está basado en la ISO/DIS 10381 referente a muestreo de suelos, con las variaciones pertinentes de este caso (estiércoles).

El primer paso consiste en obtener información general sobre el acopio de estiércol y la granja de procedencia. Posteriormente se realiza una visita para conocer el entorno y promover un estudio previo para organizar y plantear el muestreo. Durante la visita se habla con el propietario del acopio, con su ayuda se identifican tres zonas en función del tiempo de residencia dentro del mismo acopio.

Durante la salida de campo para el muestreo del acopio, se procede en primer lugar a identificar visualmente los límites entre las tres zonas existentes.

Como se han identificado tres zonas diferentes dentro del mismo acopio, se procede a realizar un muestreo por zonas.

Cada una de las tres zonas son visualmente homogéneas. No obstante, la homogeneidad puede ser meramente aparente y es muy probable la existencia de diferencias de humedad u otras propiedades entre el interior y la superficie. Para comprobarlo se opta por tomar muestras a dos profundidades, parte superficial seca que llega hasta aproximadamente 30 cm, y parte inferior. Esta diferencia entre la superficie y la profundidad se pudo observar en dos perfiles que se efectuaron en dos zonas del acopio de diferente edad. Estos perfiles permitieron llegar hasta el fondo del acopio sin que hubiese diferencias aparentes más allá de los primeros 30 cm.

En total el número de muestras que se diseña recoger son 26 de estiércol. Además se requiere muestrear la cascarilla de arroz que forma la “cama” sobre la que se estabulan los broilers. Esta muestra se obtendrá en la granja.



Figura 6. Foto de cascarilla de arroz.

Las muestras se distribuyen de la siguiente manera:

- Montón de 2 meses (zona A): 8 tomas de muestreo a dos profundidades (16 muestras) y un muestreo de perfil a 3 alturas (3 muestras).
- Montón de 6 meses (zona B): 5 tomas de muestreo a dos profundidades (2 muestras compuestas).
- Montón de 12 meses (zona C): 5 tomas de muestreo a dos profundidades (2 muestras compuestas) y un muestreo de perfil a 3 alturas (3 muestras).
- Cascarilla de arroz: 1 muestra.

El porqué de la distribución de las tomas de muestreo se justifica en que para conocer la diversidad dentro de un mismo acopio, y así cumplir con el objetivo principal de este trabajo, hay que extraer una cantidad considerable de muestras para su estudio estadístico. Las muestras recogidas en la zona A son las que se usan para caracterizar la variabilidad del acopio y por ello el número de muestras es de 16. El número de muestras de las otras dos zonas (B y C) son dos muestras compuestas para cada zona (una por profundidad), ya que, para comprobar si el paso del tiempo modifica la composición del estiércol y poder corroborar si los resultados extraídos son válidos para estiércoles de diferentes edades, no parece necesaria una toma de muestras mayor, simplemente una muestra compuesta de cinco puntos representativa para llevarse a cabo la comparación.

Una vez concretados el número tomas de muestreo, se disponen dos cintas métricas de 100 metros de longitud en dos lados adyacentes del perímetro del área de muestreo. Una de ellas indica el ancho del montón mientras que la otra indica la longitud. Los 8 puntos de muestreo en la zona A, de 2 meses, se distribuyen de manera regular, dejando una distancia igual entre unos y otros. En las otras dos zonas (B y C) el área de muestreo se establece de la misma manera que en la zona A, pero en este caso de las cinco tomas de cada una de estas zonas se forma una única muestra compuesta para cada profundidad que represente cada una de las zonas. También se escogen los dos perfiles ya comentados anteriormente.

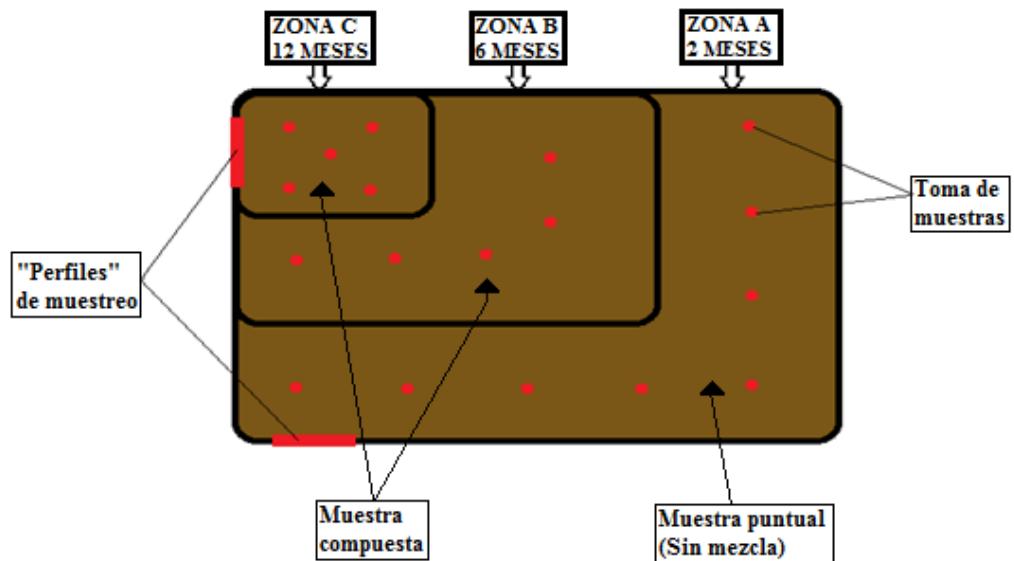


Figura 7. Distribución en el acopio de las diferentes zonas y de la posición de las tomas extraídas.

Designadas las tomas de muestreo y examinados los perfiles en los que se ve que la zona “seca” llega hasta unos 30 cm., se toman dos muestras de cada uno de ellas, una de 0-30 cm y otra de 30-60 cm de profundidad. La muestra se toma con una barrena de unos 8 cm de diámetro. Cada muestra final corresponde a un volumen de estiércol de unos 1500 cm³, lo que en peso supone alrededor de 1 kg.



Figura 8. Imagen de un perfil durante el muestreo

Las muestras tomadas se recolectan individualmente en una bolsa de plástico que es previamente identificada con el montón, el punto de la toma y la profundidad, y seguidamente cerrada para evitar pérdidas de masa o de compuestos por volatilización. En la medida de lo posible se disagregan los agregados de estiércol y se homogeniza la muestra en campo.

A la llegada al laboratorio las bolsas que contienen las muestras se etiquetan con el registro del laboratorio e introducen en un congelador industrial. Esto se lleva a cabo porque se ha comprobado que las muestras de estiércol deben ser congeladas para minimizar los cambios en las formas de N hasta que las muestras son analizadas en el laboratorio (Hood, 1997).

3.3. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

El proceso a seguir para la preparación de las muestras se representa en el siguiente esquema y se desarrolla parte por parte a lo largo de este punto.

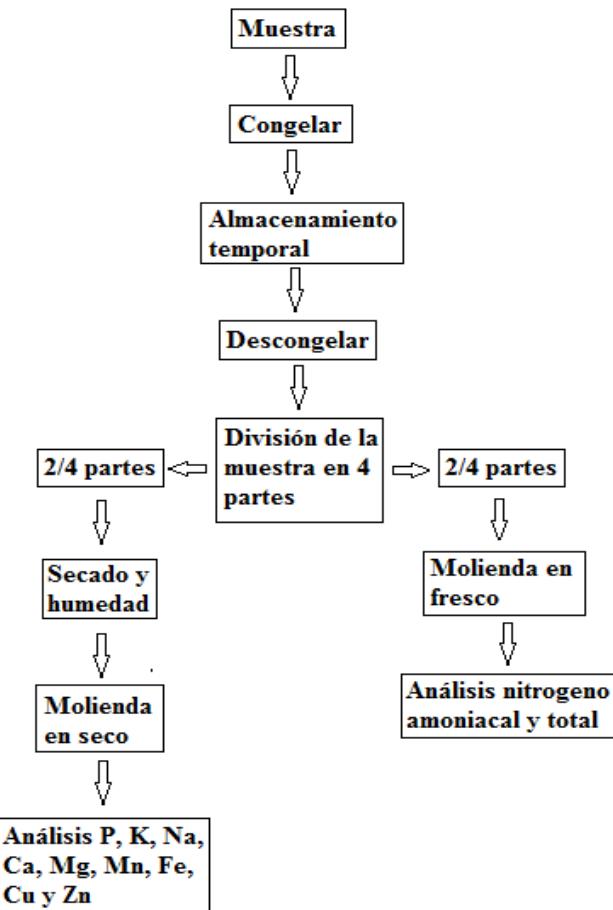


Figura 9. Esquema representativo del desarrollo de la preparación y análisis de las muestras

Todo el manejo del estiércol debe realizarse con guantes de látex por higiene y para evitar la contaminación de las muestras.

3.3.1. Molienda en fresco

Necesaria para el análisis de nitrógenos, tanto nitrógeno total como nitrógeno en forma amoniacal. Método Kjeldahl.

Materiales:

- Tamiz de 1mm de grosor
- Cazo
- Tarros de HDPE de boca ancha
- Etiquetas
- Guantes de látex

Equipo:

- Molino de cuchillas

Procedimiento:

Para el análisis de nitrógeno la muestra se mantiene en fresco porque durante el secado se puede perder gran parte del nitrógeno en forma amoniacal.

La molienda se realiza en sucesivos días. Previamente y durante 24 horas se dejan descongelar a temperatura ambiente el número de muestras que se puedan procesar para analizar el nitrógeno.

Una vez descongeladas, las muestras se homogenizan y dividen en cuatro partes, de las cuales se toman dos, se pasan por un molino y se tamizan a 1 mm. Las otras dos partes se secan en estufa para determinar la humedad en un procedimiento que se desarrolla en el siguiente punto.

Hay que tener en cuenta que la totalidad de la muestra debe pasar por el tamiz de 1 mm, por lo tanto es necesario moler las muestras tantas veces como fuese necesario, pero sin calentarlas.

Estando las muestras molidas, se introducen en un tarro de plástico etiquetado con el número de muestra, mediante un cazo para evitarse pérdidas. Una vez finalizado el proceso la muestra ya está preparada para utilizarse en la determinación de nitrógeno.

3.3.2. Secado y determinación de humedad

Este procedimiento se realiza con dos fines, conocer la humedad de las muestras y secarlas para su posterior molienda y análisis.

Materiales:

- Cápsulas de evaporación de porcelana
- Bandeja
- Parafilm
- Desecador
- Guantes de látex

Equipo:

- Balanza de precisión
- Estufa

Procedimiento:

Para realizarse el secado de las muestras es necesario tomar las 2/4 partes de muestra restantes que no han sido molidas en fresco.

En primer lugar las muestras se toman del congelador y se ponen a descongelar durante 24 horas a temperatura ambiente. Una vez pasado ese tiempo, cada una de las muestras se introduce en dos cápsulas de porcelana, previamente taradas, apuntándose su peso en fresco e identificándose todas ellas con el número de muestra.

Habiéndose anotado y pesado las muestras, se depositan todas las cápsulas en una bandeja para facilitar su transporte a la estufa y evitar pérdidas de muestra en el trayecto.

Las muestras se introducen en estufa a una temperatura de 40°C, para secarlas sin volatilizar otros componentes volátiles, durante un tiempo variable. Se sacan, se enfrian en desecador, se pesan y se anotan sus correspondientes pesos cada 24 horas. En el momento en que la pesada no varía con la del día anterior la muestra se considera seca.

Conociéndose el peso de las cápsulas de porcelana, el peso de la muestra húmeda en la cápsula y el peso de la muestra seca en la cápsula, se calcula la humedad de las distintas muestras.

Hasta el traslado de las muestras al molino, se cubren con film y se introducen en el desecador para evitar su rehumectación.

3.3.3. Molienda en seco

Las muestras en seco son necesarias para el análisis de todos los elementos excepto el nitrógeno.

Es necesario que se haya concluido el proceso de secado y que se encuentren las muestras atemperadas para realizarse la molienda.

Materiales:

- Tamiz de 1mm de grosor
- Cazo
- Tarros de HDPE de boca ancha
- Etiquetas
- Guantes de látex

Equipo:

- Molino de cuchillas

Procedimiento:

El proceso se inicia extrayéndose las muestras del desecador y eliminándose el film que las cubre. Las muestras se introducen en una bandeja, para facilitar su transporte, y se trasladan al molino.

En esta molienda, al igual que en la molienda en fresco, las muestras se han de moler tantas veces como sea necesario para que la totalidad de las mismas pase por el tamiz de 1 mm.

La muestra una vez molida se recoge mediante un cazo y se introduce en un frasco de plástico. El frasco debe cerrarse correctamente y etiquetarse con el número de muestra correspondiente.

Finalizado el proceso la muestra está preparada para su digestión en microondas.

3.3.4. Digestión en microondas y preparación de disoluciones madre

Realizar este proceso es imprescindible para poder determinar los distintos elementos mediante las técnicas de absorción atómica o ICP.

Se lleva a cabo mediante un ataque de la muestra de estiércol con ácido nítrico al 67 % y agua oxigenada. Para acelerar el proceso se aporta energía mediante microondas.

Materiales:

- Tubos de teflón
- Tubos de vidrio aforados (20 ml)
- Gradilla de metal
- Embudo de vidrio
- Guantes de latéx

Equipo:

- Balanza de precisión
- Equipo digestor por microondas
- Campana de extracción

Reactivos:

- Ácido nítrico 67 %
- Ácido nítrico 1 %
- Agua oxigenada 30 %

Procedimiento:

El procedimiento que se realiza para la digestión por microondas se inicia pesando 0,2 g de muestra seca y molida, e introduciéndose en un tubo de teflón. Los tubos se trasladan a la campana de extracción para proceder a introducir en cada uno de ellos 5 ml de ácido nítrico (67 %) y 5 ml de agua oxigenada (30 %), este proceso debe realizarse cuidadosamente y en ese orden. Una vez se haya completado lo anterior, los tubos se sellan y se colocan de forma correcta dentro del microondas al que se le introduce un programa específico de una duración aproximada de 45 minutos.

Cuando el microondas ha finalizado con el programa, todo el rotor de 10 tubos se deja enfriar a temperatura ambiente permaneciendo cerrado.

Una vez estén fríos los tubos se llevan a la campana para proceder a su apertura. Mediante un embudo de vidrio se traslada el contenido del tubo de teflón al tubo aforado arrastrando perfectamente, lavando y enrasando a 20 ml con ácido nítrico (1 %). Esta es la “disolución madre” de la que se parte para realizar las diversas determinaciones. Los tubos se introducen en la nevera para su conservación.

Los guantes de látex son obligatorios por el manejo de reactivos que pueden causar daños físicos serios.

En cada ataque al microondas es necesario introducir un blanco y un material de referencia para asegurarse posteriormente de que toda la tanda es correcta y que la digestión ha salido bien.

3.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS

3.4.1. Nitrógeno total (N total). (Kjeldahl)

Para la determinación del nitrógeno total se utiliza el método Kjeldahl. El nitrógeno que contiene la muestra se transforma en sulfato amónico y posteriormente éste es destilado en presencia de un exceso de hidróxido sódico, lo que transformará el radical amonio en gas amoníaco. Este amoniaco es valorado con ácido bórico con lo que se obtiene la cantidad de nitrógeno de la muestra.

Materiales:

- Espátula
- Tubos de vidrio para Kjeldahl
- Gradilla de metal

Equipo:

- Báscula de precisión
- Digestor Kjeldahl
- Destilador Kjeldahl
- Campana extractora

Reactivos:

- Ácido salicílico
- Ácido sulfúrico
- Sulfato de sodio
- Catalizador (Cu-Se)
- Hidróxido sódico
- Ácido bórico
- Ácido clorhídrico

Procedimiento:

Para aplicar este método se realizan los siguientes pasos. Se introducen 0,4 g de muestra de estiércol, homogeneizada y molida en húmedo, en un tubo de vidrio especial para la digestión Kjeldahl. El máximo número de tubos por tanda son 8, siempre incluyéndose un blanco y una muestra control. A continuación se agregan 0,5 g de ácido salicílico y seguidamente, en campana, 15 ml de ácido sulfúrico (96 %), dejándose en contacto durante media hora. Pasada la media hora se añade en campana 0,2 g de tiosulfato de sodio y se reposa durante 5 minutos. Transcurrido este tiempo se agrega una pastilla de catalizador y se lleva a un digestor tipo Kjeldahl. Se introduce un programa de cinco etapas (1^a gradiente de T^a 0-250°C durante 30 minutos, 2^a T^a constante a 250°C durante 30 minutos, 3^a gradiente 250-400°C durante 45 minutos, 4^a T^a constante a 400°C durante 30 minutos y 5^a enfriamiento durante 25 minutos). Finalizado el proceso se retira del digestor y se enfriá en una campana de extracción. Por último, se destila en presencia de exceso de hidróxido sódico en un destilador Kjeldahl, que valora automáticamente el amoniaco destilado con ácido bórico. En éste último paso es necesario añadir un tubo más con el material de referencia que compruebe el funcionamiento de todo el proceso.



Figura 10. Equipo de destilación Kjeldahl

3.4.2. Nitrógeno amoniacial (N-NH₄). (Kjeldahl)

A diferencia de la determinación del nitrógeno total, en este proceso sólo se requiere de una destilación, sin ser necesaria una digestión previa.

Materiales:

- Espátula
- Tubos de vidrio para Kjeldahl
- Gradilla de metal

Equipo:

- Destilador Kjeldahl
- Báscula de precisión

Reactivos:

- Hidróxido sódico
- Ácido bórico
- Agua destilada
- Ácido clorhídrico

Procedimiento:

En este procedimiento se introducen las muestras de estiércol molidas y homogeneizadas en fresco (0,4 g) en tubos de vidrio para Kjeldahl. Sin añadir ningún reactivo, los tubos se introducen en el destilador Kjeldahl, operando de la misma forma que el análisis del nitrógeno total. Paralelamente, se introducen en la serie un blanco y un material de referencia.

3.4.3. Fósforo (P). (Espectrofotometría)

La determinación del fósforo se realiza partiendo del digerido mediante espectrofotometría a 430 nm. Para ello se lleva a cabo una calibración indirecta

introduciendo un blanco, y patrones de 2 mg/l, 6 mg/l y 12 mg/l. A la recta de calibrado se le exige una R^2 igual o mayor de 0,99.

Material:

- Tubos aforados (20 ml)
- Matraces aforados (25 ml)
- Pipeta electrónica
- Vasos de plástico

Reactivos:

- Nitrovanadato de molibdeno

Equipo:

- Espectofotómetro

Procedimiento:

Se toman 2,5 ml de cada una de las disoluciones madre de la digestión y se llevan a un matraz aforado de 25 ml. Se añaden 5 ml de nitrovanadato de molibdeno a cada matraz y se enrasa con agua destilada. Las preparaciones se dejan reposar durante una hora para que el nitrovanadato reaccione. Se añade una pequeña cantidad a un vaso de plástico para facilitar la medición en el espectofotómetro.

El espectofotómetro se enciende unos 15 o 20 minutos antes de medirse las muestras, para que la lámpara se caliente y los resultados sean correctos. Se miden las muestras y se introducen de nuevo los patrones para verificar los resultados.



Figura 11. Foto del espectofotómetro

3.4.4. Potasio (K), hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn) y zinc (Zn). (Absorción atómica)

Las determinaciones de la mayor parte de cationes nutrientes se hacen por absorción atómica a las siguientes longitudes de onda:

Potasio (K) 766,4 nm.

Hierro (Fe) 248,3 nm.

Cobre (Cu) 324,7 nm.

Manganeso (Mn) 279,5 nm.

Zinc (Zn) 213,7 nm.

Para cada uno de los elementos se realiza una calibración indirecta mediante soluciones patrón de concentración conocida y se comparan las lecturas obtenidas con la curva patrón.

Materiales:

- Pipeta electrónica
- Matraces aforados (20 ml)

Reactivos:

- Cloruro de cesio y lantano
- Ácido nítrico (1 %)

Equipo:

- Equipo de absorción atómica

Procedimiento:

Es necesaria una dilución de las muestras de potasio. Sin embargo para hierro, cobre, manganeso y zinc, no se requiere dilución, se mide directamente de la disolución madre.

La preparación de las muestras para el potasio consiste en tomar 0,2 ml de la disolución concentrada o disolución madre, añadiéndose 2 ml de una solución de cloruro de cesio y lantano, para eliminar interferencias, y se llevándose a volumen final de 20 ml con ácido nítrico (1 %).

Una vez preparadas las diluciones se procede a su medida en el equipo de absorción atómica.



Figura 12. Equipo de absorción atómica

3.4.5. Sodio (Na), magnesio (Mg) y calcio (Ca). (ICP)

La determinación de estos elementos puede realizarse mediante un equipo de espectrofotometría en plasma inductivamente acoplado, leyendo en este caso líneas de emisión a las siguientes longitudes de onda:

Sodio (Na) 589,59 nm.

Magnesio (Mg) 383,23 nm.

Calcio (Ca) 422,67 nm.

Para cada uno de los elementos se realiza una calibración indirecta con soluciones patrón de concentración conocida y se comparan las lecturas obtenidas con la curva patrón.

Materiales:

- Pipeta electrónica

Equipo:

- Equipo de ICP (Espectrofotometría de emisión atómica en plasma inductivamente acoplado).

Procedimiento:

La determinación por ICP se realiza directamente a partir de la disolución madre. Lo único a tener en cuenta es que para la determinación de algunos elementos es necesario realizar alguna dilución al quedar sus mediciones por encima de los valores de calibración.



Figura 13. Equipo de ICP

3.4.6. Materia orgánica (M.O.) (Mufla)

Materiales:

- Cápsulas de evaporación de porcelana
- Espátula

Equipo:

- Mufla
- Balanza de precisión

Procedimiento:

La determinación de materia orgánica es un proceso sencillo, únicamente hay que pesar una cantidad aproximada de 5 gramos de muestra seca y molida y colocar en una cápsula de porcelana que se introduce en una mufla durante 8 horas a 450 °C; la temperatura se va subiendo en varias etapas para evitar la ignición. La diferencia del peso inicial y final refleja la cantidad de materia orgánica que posee la muestra.

3.5. TRATAMIENTO DE RESULTADOS

La elaboración de resultados se efectúa mediante el tratamiento estadístico de los valores obtenidos. Para ello se utiliza la aplicación informática SPSS.

En una evaluación inicial de los datos obtenidos en los procedimientos analíticos se eliminan valores aberrantes, entendiendo como tales aquellos que distan de la media más de dos veces la desviación estándar.

En esa primera evaluación se comprueba también que los resultados individuales siguen una distribución normal. Una forma visual simple de comprobar si un grupo de datos procede de una población normal es representar una curva de frecuencias acumuladas (Miller et al., 1988).

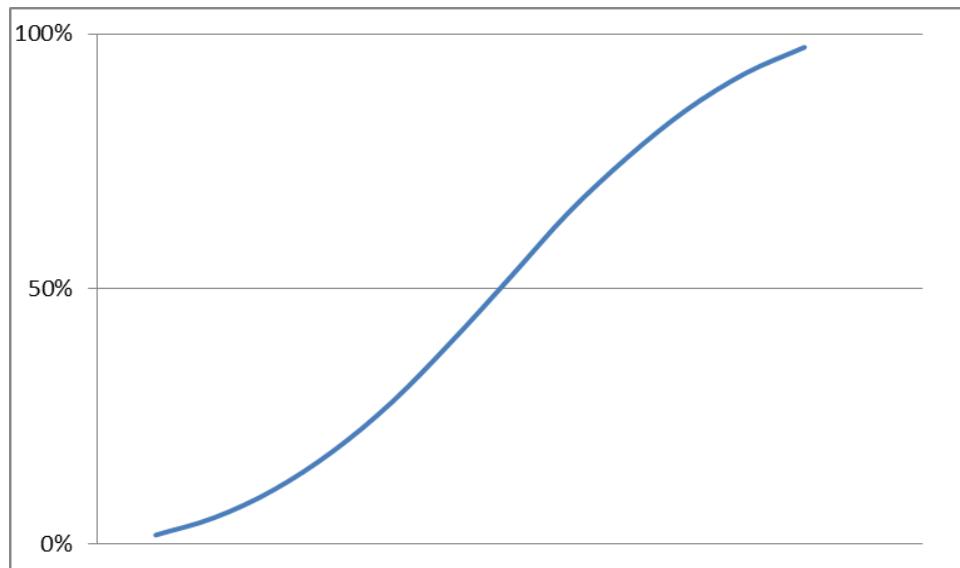


Figura 14. Curva de frecuencias acumulada (Miller et al., 1988).

El intervalo de confianza para la media se puede interpretar como la suma de la incertidumbre de muestreo y la incertidumbre del procedimiento de análisis.

La incertidumbre del procedimiento está calculada por el laboratorio y procede de la composición de diferentes componentes:

- Contribución de la repetitividad.
- Contribución de la exactitud (sesgo).
- Contribución del patrón.

Con los valores depurados se obtienen los estimadores estadísticos de centralidad y dispersión que permiten por una parte otorgar resultados para el contenido medio del estiércol en sus diferentes estados de maduración (evolución), y por otra calcular el número mínimo de tomas de muestreo para obtener resultados con una precisión determinada, utilizando para ello las tablas de la distribución “t-Student”.

Para obtener el intervalo de confianza para la media se utiliza la expresión:

$$D = \sqrt{\frac{t^2 \cdot s^2}{n}}$$

Siendo:

D: Intervalo de confianza para la media.

t: Valor de la distribución “t-Student” para un nivel de precisión (habitualmente 95 %) y unos grados de libertad (n-1) determinados.

s: Varianza estimada de la población para la propiedad determinada.

n: número de puntos de observación.

Desde esa misma expresión, dependiendo del intervalo de confianza para la media que estamos dispuestos a consentir, podemos calcular el número de muestras individuales que deberían recolectarse en la muestra compuesta, mediante la expresión:

$$n = \frac{t^2 \cdot s^2}{D^2}$$

Dónde:

D: Intervalo de confianza para la media.

t: Valor de la distribución “t-Student” para un nivel de precisión (habitualmente 95 %) y unos grados de libertad (n-1) determinados.

s: Varianza estimada de la población para la propiedad determinada.

n: número de puntos de observación.

3.6. FUENTES DE INFORMACIÓN PARA EL BALANCE DE NITRÓGENO

La elección de una explotación muy bien controlada permite realizar un balance de nitrógeno involucrado en cada fase de la producción de broiler que permita comprobar si la “masa” de nitrógeno involucrada se mantiene y como se distribuye al final. Para ello, es necesario recopilar toda la información posible sobre entradas y salidas de productos con sus respectivas concentraciones de nitrógeno.

En general, resulta posible obtener una muy buena aproximación sobre las cantidades de los principales insumos y de las producciones. En los casos en que no ha sido posible obtener el dato real se han realizado aproximaciones.

Respecto a los contenidos de nitrógeno, se utilizan los obtenidos en este trabajo tanto para la cama como para el estiércol final. El resto se ha obtenido de tablas o de otras fuentes. En algún caso, se ha despreciado la contribución a dicho balance, por ejemplo en el caso del agua de bebida.

4. RESULTADOS

4.1. CARACTERIZACIÓN Y VARIABILIDAD

La caracterización obtenida mediante el muestreo puede observarse en las tablas 6 y 7 (datos en Anejos). La dispersión de valores en el conjunto de las muestras de cada profundidad depende del elemento analizado, y se traslada al resultado a través del muestreo. La variabilidad no siempre es mayor para todos los elementos en las muestras de una misma profundidad, sino que se alternan según el elemento que se esté tratando, por ejemplo el nitrógeno amoniacal es más variable en superficie y el magnesio es más variable en profundidad.

Estos resultados se han obtenido a partir del análisis de las muestras tomadas en la zona A, por ser la zona en la que se ha decidido caracterizar la variabilidad del acopio, y por ello se ha hecho un muestreo más intensivo.

Elemento	Nitrógeno total (N)		Nitrógeno amoniacal (N-NH ₄)		Fósforo (P ₂ O ₅)		Potasio (K ₂ O)	
Profundidad	0-30	30-60	0-30	30-60	0-30	30-60	0-30	30-60
Media	39,41	43,70	11,55	12,38	25,91	26,56	32,86	33,92
Desviación estándar	4,01	3,83	3,26	1,17	2,84	1,32	4,50	1,77
Coeficiente de variación (C.V. %)	10,18	8,76	28,23	9,45	10,96	4,87	13,69	5,22
Nº de muestras	24	24	21	20	16	16	16	16

Tabla 6. Resultados de media y desviación estándar obtenidos del muestreo de la zona A para nitrógeno total (N), nitrógeno amoniacal (N-NH₄), fósforo (P₂O₅) y potasio (K₂O). En (kg/t) sobre materia seca y por profundidad (cm).

Elemento	Calcio (CaO)		Magnesio (MgO)		Sodio (Na)	
Profundidad	0-30	30-60	0-30	30-60	0-30	30-60
Media	36,68	33,09	25,69	25,69	5,84	5,94
Desviación estándar	10,25	6,44	3,82	4,19	1,27	1,08
Coeficiente de variación (C.V. %)	27,94	19,46	14,87	16,31	21,75	18,18
Nº de muestras	16	17	29	28	28	28

Tabla 7. Resultados de media y desviación estándar obtenidos del muestreo de la zona A para calcio (Ca), magnesio (Mg) y sodio (Na). En (kg/t) sobre materia seca y por profundidad (cm).

4.2. EVOLUCIÓN Y VARIACIÓN EN PROFUNDIDAD

Para determinar la concentración de nutrientes en las distintas zonas del acopio (A, B y C) y a distintas profundidades, se analizaron los principales elementos minerales en las muestras del estiércol seleccionado. En estos análisis se determinó la concentración de: nitrógeno (total y amoniacal), fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, zinc, sodio, cobre, materia orgánica y humedad. (ver Anejos).

Mediante la comparativa de cada uno de los elementos en las distintas zonas, se determina cómo evolucionan los elementos en el estiércol de broiler a lo largo del tiempo y si esta evolución tiene un efecto significativo sobre el contenido de nutrientes. Además, se pretende conocer la importancia de la variación que experimentan cada uno de los nutrientes dentro de un mismo punto de muestreo en función de la profundidad.

En las tablas 8 y 10 se presenta la cantidad de nitrógeno total y amoniacal en la parte externa y en profundidad de los montones de diferentes edades, mientras que en las tablas 9 y 11 se presentan los resultados para perfiles obtenidos en un frente del acopio (situación más próxima al borde), más seca y expuesta a factores ambientales. Se refleja lo mismo para el resto de elementos en las tablas 12 a 25.

4.2.1. Nitrógeno total y nitrógeno amoniacial

Zona	0-30 cm	30-60 cm
Zona A (2 meses)	39,41	43,70
Zona B (6 meses)	38,65	44,83
Zona C (12 meses)	34,97	45,28

Tabla 8. Efecto del tiempo de maduración del estiércol sobre la concentración de nitrógeno total (N, kg/t) en superficie y parte interna del acopio de estiércol. Resultados medios expresados sobre materia seca (método Kjeldahl).

Perfiles	Media 0-30 cm	Media 30-60 cm	Media 60-90 cm
Perfil 2 meses	41,18	49,34	43,65
Perfil 12 meses	36,07	44,48	40,38

Tabla 9. Efecto del tiempo de maduración del estiércol sobre la concentración de nitrógeno total evaluado en dos perfiles próximos al frente del acopio (N, kg/t). Resultados expresados sobre materia seca (método Kjeldahl).

Zona	Media de 0-30 cm	Media de 30-60 cm
Zona A (2 meses)	11,55	12,38
Zona B (6 meses)	9,08	12,42
Zona C (12 meses)	7,33	15,19

Tabla 10. Efecto tiempo de maduración del estiércol sobre la concentración de nitrógeno amoniacial (N-NH₄, kg/t) en superficie y parte interna del acopio de estiércol. Resultados medios expresados sobre materia seca (método Kjeldahl).

Perfiles	Media 0-30 cm	Media 30-60 cm	Media 60-90 cm
Perfil 2 meses	17,02	24,82	15,68
Perfil 12 meses	8,81	11,71	6,22

Tabla 11. Efecto tiempo de maduración del estiércol sobre la concentración de nitrógeno amoniacial evaluado en dos perfiles próximos al frente del acopio (N-NH₄, kg/t). Resultados expresados sobre materia seca (método Kjeldahl).

4.2.2. Fósforo

Zona	Media de 0-30 cm	Media de 30-60 cm
Zona A (2 meses)	25,91	26,56
Zona B (6 meses)	30,40	30,30
Zona C (12 meses)	32,35	30,70

Tabla 12. Efecto tiempo de maduración del estiércol sobre la concentración de fósforo (P_2O_5 , kg/t) en superficie y parte interna del acopio de estiércol. Resultados medios expresados sobre materia seca (espectrofotometría).

Perfiles	Media 0-30 cm	Media 30-60 cm	Media 60-90 cm
Perfil 2 meses	23,65	24,80	25,20
Perfil 12 meses	25,35	35,50	29,50

Tabla 13. Efecto tiempo de maduración del estiércol sobre la concentración de fósforo evaluado en dos perfiles próximos al frente del acopio (P_2O_5 , kg/t). Resultados expresados sobre materia seca (espectrofotometría).

4.2.3. Potasio

Zona	Media de 0-30 cm	Media de 30-60 cm
Zona A (2 meses)	33,19	34,20
Zona B (6 meses)	41,71	41,32
Zona C (12 meses)	44,41	47,18

Tabla 14. Efecto tiempo de maduración del estiércol sobre la concentración de potasio (K_2O , kg/t) en superficie y parte interna del acopio de estiércol. Resultados medios expresados sobre materia seca (absorción atómica).

Perfiles	Media 0-30 cm	Media 30-60 cm	Media 60-90 cm
Perfil 2 meses	29,83	30,86	30,20
Perfil 12 meses	37,23	28,33	30,78

Tabla 15. Efecto tiempo de maduración del estiércol sobre la concentración de potasio evaluado en dos perfiles próximos al frente del acopio (K_2O , kg/t). Resultados expresados sobre materia seca (absorción atómica).

4.2.4. Calcio

Zona	Media de 0-30 cm	Media de 30-60 cm
Zona A (2 meses)	36,68	33,09
Zona B (6 meses)	30,99	40,05
Zona C (12 meses)	47,60	40,32

Tabla 16. Efecto tiempo de maduración del estiércol sobre la concentración de calcio (CaO, kg/t) en superficie y parte interna del acopio de estiércol. Resultados medios expresados sobre materia seca (ICP).

Perfiles	Media 0-30 cm	Media 30-60 cm	Media 60-90 cm
Perfil 2 meses	26,57	47,14	29,80
Perfil 12 meses	61,51	54,95	46,99

Tabla 17. Efecto tiempo de maduración del estiércol sobre la concentración de calcio evaluado en dos perfiles próximos al frente del acopio (CaO, kg/t). Resultados expresados sobre materia seca (ICP).

4.2.5. Magnesio

Zona	Media de 0-30 cm	Media de 30-60 cm
Zona A (2 meses)	25,69	25,69
Zona B (6 meses)	33,15	25,50
Zona C (12 meses)	38,00	28,23

Tabla 18. Efecto tiempo de maduración del estiércol sobre la concentración de magnesio (MgO, kg/t) en superficie y parte interna del acopio de estiércol. Resultados medios expresados sobre materia seca (ICP).

Perfiles	Media 0-30 cm	Media 30-60 cm	Media 60-90 cm
Perfil 2 meses	18,58	17,90	25,65
Perfil 12 meses	25,53	36,90	23,94

Tabla 19. Efecto tiempo de maduración del estiércol sobre la concentración de magnesio evaluado en dos perfiles al frente del acopio (MgO, kg/t). Resultados expresados sobre materia seca (ICP).

4.2.6. Sodio

Zona	Media de 0-30 cm	Media de 30-60 cm
Zona A (2 meses)	5,84	5,94
Zona B (6 meses)	6,67	6,22
Zona C (12 meses)	6,57	6,83

Tabla 20. Efecto tiempo de maduración del estiércol sobre la concentración de sodio (Na, kg/t) en superficie y parte interna del acopio de estiércol. Resultados medios expresados sobre materia seca (ICP).

Perfiles	Media 0-30 cm	Media 30-60 cm	Media 60-90 cm
Perfil 2 meses	5,33	4,91	5,64
Perfil 12 meses	5,77	4,82	5,45

Tabla 21. Efecto tiempo de maduración del estiércol sobre la concentración de sodio evaluado en dos perfiles al frente del acopio (Na, kg/t). Resultados expresados sobre materia seca (ICP).

4.2.7. Materia orgánica

Zona	Media de 0-30 cm	Media de 30-60 cm
Zona A (2 meses)	72,98	74,96
Zona B (6 meses)	73,28	74,13
Zona C (12 meses)	63,51	69,41

Tabla 22. Efecto tiempo de maduración del estiércol sobre la concentración de materia orgánica (% M.O.) en superficie y parte interna del acopio de estiércol.

Perfiles	Media 0-30 cm	Media 30-60 cm	Media 60-90 cm
Perfil 2 meses	74,30	77,00	75,11
Perfil 12 meses	63,85	68,34	68,27

Tabla 23. Efecto tiempo de maduración del estiércol sobre la concentración de materia orgánica (% M.O.) evaluado en dos perfiles al frente del acopio.

4.2.8. Humedad

Zona	Media de 0-30 cm	Media de 30-60 cm
Zona A (2 meses)	24,36	25,69
Zona B (6 meses)	22,54	17,85
Zona C (12 meses)	13,65	18,48

Tabla 24. Efecto tiempo de maduración del estiércol sobre la concentración de humedad (% H₂O) en superficie y parte interna del acopio de estiércol. Resultados medios sobre materia fresca.

Perfiles	Media 0-30 cm	Media 30-60 cm	Media 60-90 cm
Perfil 2 meses	17,33	33,52	33,31
Perfil 12 meses	8,24	9,07	37,32

Tabla 25. Efecto tiempo de maduración del estiércol sobre la concentración de humedad (% H₂O) evaluado en dos perfiles al frente del acopio. Resultados expresados sobre materia fresca.

4.2.9. Cobre, hierro, manganeso y zinc

Los resultados obtenidos de estos elementos son insuficientes como para elaborar las tablas anteriores. La finalidad con la que han sido hallados es el conocimiento orientativo de dichos elementos en el estiércol de broiler. (Los resultados se encuentran redactados en el Anexo 6).

4.3. ANÁLISIS DE LA METODOLOGÍA DE MUESTREO

Mediante el análisis estadístico de los resultados se han obtenido los valores medios e intervalo de confianza de todos los elementos analizados. A partir de ellos, y tomando los valores de la distribución “t de Student”, se han realizado las siguientes tablas en las que se muestra la incertidumbre que presenta cada elemento en la capa externa (0 – 30 cm) e interna (30 – 60 cm) del acopio, para una cantidad de tomas de muestreo que varían de 2 a 10.

Profundidad (cm)	0 – 30 cm		30 - 60 cm	
Media	39,41		43,70	
Nº puntos	Incertidumbre absoluta	Incertidumbre relativa	Incertidumbre absoluta	Incertidumbre relativa
2	36,03	91	34,41	79
3	9,96	25	9,51	22
4	6,38	16	6,09	14
5	4,98	13	4,76	11
6	4,21	11	4,02	9
7	3,71	9	3,54	8
8	3,35	9	3,20	7
9	3,08	8	2,94	7
10	2,87	7	2,74	6

Tabla 26. Incertidumbre debida al muestreo, en diferentes condiciones de intensidad de muestreo (número de puntos de muestreo por muestra compuesta). Resultados de media e incertidumbre absoluta expresados en (N, kg/t) y sobre materia seca, e incertidumbre relativa expresada en (%).

Profundidad (cm)	0 – 30 cm		30 - 60 cm	
Media	11,55		12,38	
Nº puntos	Incertidumbre absoluta	Incertidumbre relativa	Incertidumbre absoluta	Incertidumbre relativa
2	29,29	254	10,51	85
3	8,10	70	2,91	23
4	5,19	45	1,86	15
5	4,05	35	1,45	12
6	3,42	30	1,23	10
7	3,01	26	1,08	9
8	2,73	24	0,98	8
9	2,51	22	0,90	7
10	2,33	20	0,84	7

Tabla 27. Incertidumbre debida al muestreo, en diferentes condiciones de intensidad de muestreo (número de puntos de muestreo por muestra compuesta). Resultados de media e incertidumbre absoluta expresados en (N-NH₄, kg/t) y sobre materia seca, e incertidumbre relativa expresada en (%).

Profundidad (cm)	0 – 30 cm		30 - 60 cm	
Media	25,91		26,56	
Nº puntos	Incertidumbre absoluta	Incertidumbre relativa	Incertidumbre absoluta	Incertidumbre relativa
2	25,52	98	11,86	45
3	7,05	27	3,28	12
4	4,52	17	2,10	8
5	3,53	14	1,64	6
6	2,98	12	1,39	5
7	2,63	10	1,22	5
8	2,37	9	1,10	4
9	2,18	8	1,01	4
10	2,03	8	0,94	4

Tabla 28. Incertidumbre debida al muestreo, en diferentes condiciones de intensidad de muestreo (número de puntos de muestreo por muestra compuesta). Resultados de media e incertidumbre absoluta expresados en (P_2O_5 , kg/t) y sobre materia seca, e incertidumbre relativa expresada en (%).

Profundidad (cm)	0 – 30 cm		30 - 60 cm	
Media	32,86		33,92	
Nº puntos	Incertidumbre absoluta	Incertidumbre relativa	Incertidumbre absoluta	Incertidumbre relativa
2	40,43	123	15,90	47
3	11,18	34	4,40	13
4	7,16	22	2,82	8
5	5,59	17	2,20	6
6	4,72	14	1,86	5
7	4,16	13	1,64	5
8	3,76	11	1,48	4
9	3,46	11	1,36	4
10	3,22	10	1,27	4

Tabla 29. Incertidumbre debida al muestreo, en diferentes condiciones de intensidad de muestreo (número de puntos de muestreo por muestra compuesta). Resultados de media e incertidumbre absoluta expresados en (K_2O , kg/t) y sobre materia seca, e incertidumbre relativa expresada en (%).

Profundidad (cm)	0 – 30 cm		30 - 60 cm	
Media	36,68		33,09	
Nº puntos	Incertidumbre absoluta	Incertidumbre relativa	Incertidumbre absoluta	Incertidumbre relativa
2	92,09	251	57,86	175
3	25,46	69	16,00	48
4	16,31	44	10,25	31
5	12,73	35	8,00	24
6	10,76	29	6,76	20
7	9,48	26	5,96	18
8	8,57	23	5,38	16
9	7,88	21	4,95	15
10	7,33	20	4,61	14

Tabla 30. Incertidumbre debida al muestreo, en diferentes condiciones de intensidad de muestreo (número de puntos de muestreo por muestra compuesta). Resultados de media e incertidumbre absoluta expresados en (CaO, kg/t) y sobre materia seca, e incertidumbre relativa expresada en (%).

Profundidad (cm)	0 – 30 cm		30 - 60 cm	
Media	25,69		25,69	
Nº puntos	Incertidumbre absoluta	Incertidumbre relativa	Incertidumbre absoluta	Incertidumbre relativa
2	34,32	134	37,65	147
3	9,49	37	10,41	41
4	6,08	24	6,67	26
5	4,74	18	5,20	20
6	4,01	16	4,40	17
7	3,53	14	3,88	15
8	3,19	12	3,50	14
9	2,94	11	3,22	13
10	2,73	11	3,00	12

Tabla 31. Incertidumbre debida al muestreo, en diferentes condiciones de intensidad de muestreo (número de puntos de muestreo por muestra compuesta). Resultados de media e incertidumbre absoluta expresados en (MgO, kg/t) y sobre materia seca, e incertidumbre relativa expresada en (%).

Profundidad (cm)		0 – 30 cm		30 - 60 cm	
Media		5,84		5,94	
Nº puntos		Incertidumbre absoluta	Incertidumbre relativa	Incertidumbre absoluta	Incertidumbre relativa
2		11,41	195	9,70	163
3		3,15	54	2,68	45
4		2,02	35	1,72	29
5		1,58	27	1,34	23
6		1,33	23	1,13	19
7		1,17	20	1,00	17
8		1,06	18	0,90	15
9		0,98	17	0,83	14
10		0,91	16	0,77	13

Tabla 32. Incertidumbre debida al muestreo, en diferentes condiciones de intensidad de muestreo (número de puntos de muestreo por muestra compuesta). Resultados de media e incertidumbre absoluta expresados en (Na, kg/t) y sobre materia seca, e incertidumbre relativa expresada en (%).

Nº puntos	N total	N-NH ₄	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Na
2	91	254	98	123	251	134	195
4	16	45	17	22	44	24	35
6	11	30	12	14	29	16	23
8	9	24	9	11	23	12	18
10	7	20	8	10	20	11	16

Tabla 33. Tabla resumen. Incertidumbre introducida por número de puntos de muestreo (%). Profundidad 0-30 cm.

Nº puntos	N total	N-NH ₄	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Na
2	79	85	45	47	175	147	163
4	14	15	8	8	31	26	29
6	9	10	5	5	20	17	19
8	7	8	4	4	16	14	15
10	6	7	4	4	14	12	13

Tabla 34. Tabla resumen. Incertidumbre introducida por número de puntos de muestreo (%). Profundidad 30-60 cm.

4.4. BALANCE DE NITRÓGENO

Para la alimentación de los pollos broiler se utilizan dos tipos de pienso (A10 y A11) y cuatro concentraciones de proteína dependiendo del periodo de cría.

A10 desde el día 1 al 14 (aproximadamente), 21,78 % de proteína.

A11 desde el día 15 al 28 (aproximadamente), 19,91 % de proteína.

A10 desde el día 29 al 40 (aproximadamente), 18,87 % de proteína.

A10 desde el día 41 al final 18,39 % de proteína.

Para calcular la cantidad de nitrógeno que contiene el pienso en función de la proteína es necesaria la realización de un cálculo ($\text{nitrógeno} * 6,25 = \text{proteína}$), puesto que la proteína se expresa como 6,25 veces la cantidad de nitrógeno.

La cantidad media de proteína en el pienso es de 19,74 % (sin considerar las diferencias de consumo entre fases), y la cantidad de pienso necesaria para alimentar a 20.000 pollos (cantidad de pollos broiler por camada) es de 80.000 kg.

La nave empleada para la cría de 20.000 pollos tiene una superficie de 1100 m² y la cantidad de cascarilla de arroz utilizada como cama es de 3,5 kg/m² en invierno y 1,8 kg/m² en verano, lo que supone una cantidad media de 2,65 kg/m², con una composición de nitrógeno de 3,5 kg por tonelada de cascarilla.

El peso vivo de salida por camada es de 44.500 kg, con un porcentaje de proteína entorno al 20 %. La cantidad de estiércol producido es de 15.000 kg, con una concentración media de nitrógeno de 31,05 kg/t.

Se desprecia el peso y la cantidad de nitrógeno aportada por los pollos broiler a la entrada.

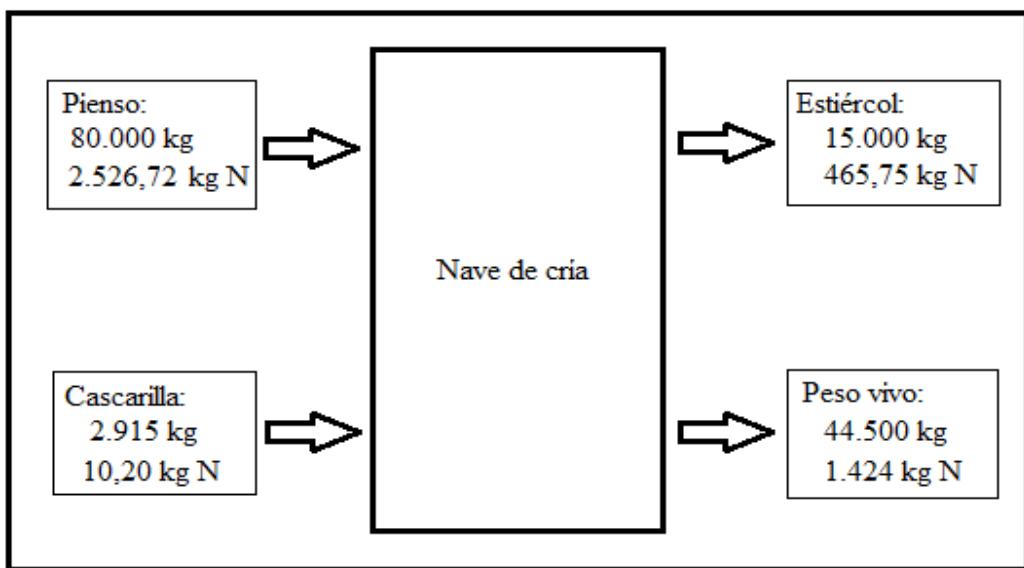


Figura 15. Esquema del balance de nitrógeno y de materia.

Cálculo de la entrada de nitrógeno:

- Pienso:

$$80.000 \text{ kg de pienso} * \frac{19,74 \text{ kg de proteína}}{100 \text{ kg de pienso}} * \frac{1 \text{ kg de nitrógeno}}{6,25 \text{ kg de proteína}} = 2526,72 \text{ kg de N}$$

- Cascarilla de arroz:

$$2,65 \frac{\text{kg de cascarilla}}{\text{m}^2} * 1100 \text{ m}^2 * \frac{3,5 \text{ kg de nitrógeno}}{1000 \text{ kg de cascarilla}} = 10,20 \text{ kg de N}$$

Cálculo de la salida de nitrógeno:

- Estírcol:

$$15.000 \text{ kg de estírcol} * \frac{31,05 \text{ kg de nitrógeno}}{1000 \text{ kg de estírcol}} = 465,75 \text{ kg de N}$$

- Peso vivo:

$$44.500 \text{ kg de pollo} * \frac{20 \text{ kg de proteína}}{100 \text{ kg de pollo}} * \frac{1 \text{ kg de nitrógeno}}{6,25 \text{ kg de proteína}} = 1424 \text{ kg de N}$$

Entradas	Salidas	Balance
Pienso: 2.526,72 kg N Cascarilla: 10,20 kg N	Estiércol: 465,75 kg N Peso vivo: 1.424 kg N	+ 646,17 kg N

Tabla 35. Balance de nitrógeno (kg de N).

5. DISCUSIÓN

En este trabajo se estudia la caracterización del estiércol de broiler en función del tiempo y de la profundidad, el número mínimo de muestras necesarias a tomar para conseguir una muestra compuesta fiable, y el balance de nitrógeno a lo largo del proceso de cría de una camada de pollos broiler. El estudio se realiza a partir de una granja específica de la que se conocen todos los datos necesarios. La ausencia de experiencias previas a la hora de establecer un muestreo fiable para estiércoles y la gran dispersión de valores de referencia respecto a la caracterización de este tipo de estiércoles llevó al planteamiento de este estudio.

5.1. RESULTADOS MEDIOS DEL ESTIÉRCOL DE BROILER

Para saber si los resultados de la caracterización de broiler están dentro de un rango similar a otras publicaciones se toma como referencia la publicación de “Fertilización nitrogenada” (Iguacel F., 2006), citando a Ziegler D. y Heduit M., para su comparación con el apartado de medias (tablas 6 y 7). Las tablas 3, 4 y 5, que aparecen en la introducción, no indican si los resultados que se citan como “gallinaza” son de gallinas de puesta o pollos de engorde, por lo que no está claro que sean comparables.

Los resultados obtenidos en la caracterización del estiércol de broiler son altos en comparación con los citados por Iguacel F. en 2006.

En el nitrógeno total, la concentración reflejada en este trabajo es mucho mayor a la referencia tomada, casi dos veces por encima. Ocurre lo mismo con fósforo, potasio y calcio. El caso del magnesio es el más destacado, ya que los resultados de este trabajo son unas 10 veces superiores a los de la publicación citada, sin que se haya encontrado una explicación.

La diferencia entre unos resultados y otros puede deberse a la metodología de muestreo, que en el caso de “Fertilización nitrogenada” se desconoce, y puede tener unos valores de incertidumbre muy altos, o también al hecho de que el estiércol analizado fuese de menor concentración porque para 1991 (año de los datos) la intensificación ganadera no estuviera al nivel de la actual o se usase mayor cantidad de cama.

5.2. DIFERENCIAS POR PROFUNDIDAD

Las tablas 6 y 7 ponen de manifiesto que existen diferencias notables en cuanto a la concentración de elementos según la profundidad de muestreo, al menos en algunos de los elementos analizados. Esto parece relacionarse con una mayor exposición a la intemperie, donde el estiércol es secado y mojado reiteradamente, y está sometido a altas temperaturas. Estas diferencias no se han encontrado descritas en la documentación revisada, ya que no hay datos sobre la caracterización por profundidades.

El nitrógeno junto con el calcio presentan los resultados con mayores diferencias entre la zona más externa y el interior.

El nitrógeno en forma amoniacal es muy volátil y se puede perder fácilmente en superficie. Pese a ello, los resultados de la parte externa (más seca) y parte interna no se encuentran muy alejados. En el nitrógeno total las diferencias por profundidad en la Zona A (montón de 2 meses) son de 4,29 kg/t, en torno a un 10 % de la media, y en nitrógeno amoniacal son de 0,83 kg/t, que queda por debajo del 10 % de la media (tabla 6). También es necesario indicar que las diferencias entre parte externa e interna se incrementan conforme el acopio es más antiguo, manteniéndose la concentración en profundidad pero perdiéndose en superficie (tablas 8 y 10). Todo esto parece indicar que la pérdida del nitrógeno amoniacal no es tan rápida como se podría esperar.

El calcio en la Zona A presenta unos valores inversos a los de nitrógeno (tabla 7), obteniendo la concentración más alta en la parte externa. Conforme pasa el tiempo la irregularidad se mantiene como se comprueba en los datos de la Zona C (tabla 16). No se encuentra explicación para esta concentración.

Los datos de fósforo, potasio, magnesio y sodio siguen el mismo patrón para una antigüedad de dos meses, siendo muy similares las concentraciones tanto en el interior como en el exterior, lo que supone que estos elementos no se ven afectados por la exposición a los factores ambientales o a la pérdida de humedad. Esto concuerda con el hecho de que no presenten formas volátiles. Además, en el caso del fósforo se conoce que en el purín porcino está muy ligado a la parte sólida de los excrementos.

Tal y como se esperaba, la materia orgánica se mineraliza más rápido en superficie que en profundidad, pero realizando este proceso de forma lenta. Al igual ocurre con la humedad, que se pierde en superficie y se mantiene constante en profundidad con el paso del tiempo.

Por último, los perfiles ofrecen unos datos muy interesantes, puesto que muestran que a partir de la zona externa no todo es igual, ya que existen diferencias entre la parte más profunda (60 – 90 cm) y la parte interna media (30 - 60 cm). En la mayoría de los casos las diferencias son pequeñas para la zona A, pero conforme la madurez del acopio es mayor las diferencias se acrecientan, mayoritariamente porque se dan casos de acumulación en zonas intermedias (30 – 60 cm), provenientes de la zona externa (0- 30 cm), mientras que a la capa inferior (60 - 90 cm) esa acumulación no llega y se mantiene constante con el paso del tiempo. Un claro ejemplo lo ofrece el fósforo (tabla 13). Potasio y magnesio a menudo no siguen este patrón.

La materia orgánica, la humedad y el nitrógeno presentan también diferencias pero de otro tipo a las comentadas. En este caso, la capa inferior (60 – 90 cm) permanece estable en cuanto a concentración, pero conforme nos aproximamos a la superficie ésta va disminuyendo, encontrando un gradiente de concentración en profundidad del acopio que se acrecienta con el paso del tiempo.

Es importante destacar que las diferencias en profundidad no eran aparentes en el perfil sino que se han encontrado al realizar los análisis de muestras que se tomaron dado el espesor de la capa.

5.3. DIFERENCIAS POR MADURACIÓN

Los resultados obtenidos en las tres zonas de muestreo reflejan que el paso del tiempo es un aspecto a tener en cuenta a la hora de dividir un acopio de estiércol para el muestreo. Esto se debe a que algunos elementos, sobre todo el nitrógeno, varían en función del tiempo de residencia, dándose casos de pérdidas por volatilización o cambios de concentraciones en profundidad por diferencias de movilización.

Fósforo, potasio y sodio son los únicos elementos analizados que permanecen estables conforme avanza la madurez. Se llega a la conclusión de que estos elementos son muy estables tanto en superficie como en profundidad.

El resto de los elementos sí que sufren cambios de concentración, y se pueden dividir en dos grupos. Uno formado por nitrógeno total, nitrógeno amoniacal, materia orgánica y humedad, y otro formado por calcio y magnesio.

En el primer grupo, la madurez del montón hace disminuir la concentración en cualquier parte del acopio, pero afectando de forma más reseñable a la capa externa, más expuesta a los factores ambientales, la cual pierde un porcentaje de concentración mayor, y por tanto haciendo crecer las diferencias entre interior y exterior con el paso del tiempo.

El segundo grupo experimenta unos cambios de concentración inversos al anterior. Se genera una movilización en las capas más profundas, que causa una acumulación en la capa externa provocando el incremento de las concentraciones en superficie y la disminución en profundidad con el paso del tiempo, lo que genera, al igual que en el caso anterior, un crecimiento de las diferencias entre interior y exterior. Esto podría deberse a que calcio y magnesio pueden estar presentes en forma de sales solubles que podrían cambiar fácilmente de posición.

5.4. METODOLOGÍA DE MUESTREO

Asumiendo que se quisiera mantener una incertidumbre de muestreo del mismo orden que la de análisis (3 % nitrógeno total y amoniacal, 1,81 % fósforo y 2,79 % potasio) deberían tomarse un mínimo de entorno 20 puntos. Pero como la cantidad de puntos de muestreo tampoco puede ser excesiva, parece más que razonable pensar en que con 10 puntos se tendrían incertidumbres de muestreo bajas (tablas 33 y 34). Las cifras de incertidumbre analítica quedan muy por debajo de las de muestreo y, por tanto, son imposibles de alcanzar.

Con 10 puntos de muestreo quedan por debajo de una incertidumbre del 10 % nitrógeno total, fósforo y potasio (en ambas profundidades), y nitrógeno amoniacal en profundidad. Teniendo en cuenta que (N, P, K) son los elementos con mayor repercusión en la agricultura, y los que mayoritariamente se piden analizar en laboratorio, se asegura que con un muestreo de diez puntos (en superficie) y seis puntos (en profundidad) para un acopio homogéneo sea más que suficiente. Con ese número de tomas se obtiene una incertidumbre total por debajo del 10 %, lo que otorga un muestreo con una fiabilidad elevada.

5.5. BALANCE DE NITRÓGENO

La oportunidad que ha surgido al plantearse este trabajo de poder disponer de todos los datos necesarios para calcular las entradas y salidas de nitrógeno en granja, añade una prueba más para confirmar que los datos de nitrógeno obtenidos durante la caracterización del estiércol son coherentes.

En el balance de nitrógeno, en la producción de una crianza de pollos de cebo (broiler), existe una diferencia de 646,17 kg de nitrógeno entre entradas y salidas (tabla 35). Considerando 5,5 ciclos de cría por año, se tienen unas pérdidas de 3.553,94 kg de nitrógeno al año.

El desfase de nitrógeno entre entradas y salidas se produce probablemente en forma de emisiones amoniacales a la atmósfera a través de la ventilación de la granja. Un tipo de contaminación ambiental difícil de cuantificar con exactitud.

No se han localizado referencias sobre un balance de este tipo con las se pueda contrastar. Pero el ajuste obtenido le concede fiabilidad, y los resultados son muy interesantes desde el punto de vista ambiental.

6. CONCLUSIONES

Los resultados del trabajo permiten obtener las siguientes conclusiones:

- 1) El muestreo contribuye mucho más a la incertidumbre de los resultados que el método analítico, aun utilizando un muestreo muy intensivo. La incertidumbre del Laboratorio es de un 3,00 % para nitrógeno total y amoniacal, 1,81 % para fósforo y 2,79 % para potasio, mientras que para alcanzar unos porcentajes similares de incertidumbre en el muestreo se requiere de 13 puntos de toma, en el mejor de los casos.
- 2) En función de qué elementos se quieran analizar y de si el muestreo se lleva a cabo en superficie o en profundidad, el número de puntos de muestreo para conseguir una incertidumbre de en torno a un 10 % es muy variable. En el caso de un análisis básico (N, P, K) con 10 puntos de toma en la capa superficial y 6 puntos en la zona profunda se consigue una incertidumbre por debajo del 10 %.
- 3) Los contenidos de algunos elementos y su variabilidad cambian con la profundidad.
- 4) La maduración del estiércol hace que algunos elementos se modifiquen (N total, NH₄, CaO, MgO, M.O. y humedad) y otros en cambio apenas sufren alteraciones (P₂O₅, K₂O y Na).
- 5) Una recomendación general para muestrear un acopio de estiércol sería:
 - Averiguar el espesor de la capa superficial más seca.
 - Separar zonas de diferente maduración o que sean en apariencia diferentes.
 - En cada una de las zonas uniformes y profundidades diferenciadas efectuar 10 tomas en superficie y de 6 a 10 tomas en profundidad (en función de los elementos a analizar). Cada toma deberá incluir una cantidad de producto aproximadamente igual.
 - Si es posible, mezclar en campo todos los puntos de una misma zona y profundidad para formar una única muestra compuesta representativa.

- 6) El estiércol de broiler otorga los siguientes contenidos medios para una madurez de dos meses:

	0 – 30 cm	30 – 60 cm
Humedad	24,36	25,69
M.O.	72,98	74,96
N total	39,41	43,70
N-NH ₄	11,55	12,38
P ₂ O ₅	25,91	26,56
K ₂ O	32,86	33,92
CaO	36,68	33,09
MgO	25,69	25,69
Na	5,84	5,94

Tabla 36. Contenidos medios para Humedad y Materia Orgánica (%), y para N total, N-NH₄, P₂O₅, K₂O, CaO, MgO y Na (kg/t), por profundidades (cm).

- 7) Se ha “cerrado” razonablemente un balance de nitrógeno en el ciclo de producción de una camada de pollos broiler. Esto confirma de una forma indirecta que los resultados de laboratorio son coherentes. Y pone de manifiesto notables pérdidas de nitrógeno volatilizado en forma de emisiones amoniacales.

7. BIBLIOGRAFÍA

- ABALGAR, A.; CORDOVÍN, L. y AGUILAR, M. 2010. *Gestión de estiércol de gallinas ponedoras*. Actas de las Jornadas Profesionales de Avicultura 2010, Pamplona, pp. 1-28.
- BETRÁN, J.; CATALÁN, P.; CUTANDO, C.; IGUÁCEL, F.; ORÚS, F; PARDO, A. y TIZÓN, V. 2011. *Muestreo De Suelos Para Evaluar El Contenido De Nitrógeno En Forma De Nitratos. Variabilidad Introducida Por La Muestra*. Actas del VI Congreso Iberolab, Madrid, pp. 1-4.
- Gobierno de Aragón. 2009. *Plan de Gestión Integral de Residuos de Aragón (2009-2015)*. Dirección General de Calidad Ambiental y Cambio Climático, Departamento de Medio Ambiente del Gobierno de Aragón y Observatorio de Medio Ambiente de Aragón, Zaragoza, 282 p.
- Gobierno de Aragón. 2005. *Plan de Gestión Integral de Residuos de Aragón (2005-2008)*. Departamento de Medio Ambiente del Gobierno de Aragón, Zaragoza, 318 p.
- Gobierno de La Rioja. 2007. *Plan Director De Residuos De La Rioja*. Gobierno de La Rioja. Turismo, Medio Ambiente y Política Territorial, Logroño, 147 p.
- HODGSON, J. M. 1987. *Muestreo y Descripción De Suelos*. Reverté, Barcelona, 225 p.
- HOOD, T. M. y JONES J.B. 1997. *Soil and Plant Analysis in Sustainable Agriculture and Environment*. Marcel Dekker, New York, 864 p.
- IGUÁCEL, F. 2006. Estiércoles y Fertilización Nitrogenada. En: Orús Pueyo F. (Coord), *Fertilización nitrogenada*. Gobierno de Aragón, Departamento de Agricultura y Alimentación, Zaragoza, pp. 53-62.
- MILLER, J. C y MILLER, J.N. 1988. *Statistics for Analytical Chemistry*. 2º Ed. Ellis Horwood, Londres, 211 p.

NABAU, C.; CANTERO MARTÍNEZ, C.; TUGUES, J.; MURILLO, G.; PUIGPINÓS, E. y VILÁ, S. 2008. *Aplicación Agrícola De Deyecciones Ganaderas y Dinámica Del Nitrógeno Mineral En El Suelo*. En: Magrí A.; Prenafeta Boldú F. X. y Flotats X. (eds.). Libro de actas del I congreso español de gestión integral de deyecciones ganaderas. Feria de Barcelona, Barcelona, pp. 126-134.

SAÑA VILASECA, J.; MORÉ RAMOS, J. C. y COHÍ RAMÓN, A. 1996. *La Gestión De La Fertilidad De Los Suelos: Fundamentos Para La Interpretación De Los Análisis De Suelos y La Recomendación De Abonados*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, 277 p.

Sección de Estadística del Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente del Gobierno de Aragón. 2010. *Anuario estadístico de Aragón 2010-2011*. Gobierno de Aragón, Departamento de Agricultura y Alimentación, Secretaría General Técnica Servicio de Estudios, Análisis e Información, Zaragoza, 645 p.

ANEJOS

Anejo 1: Caracterización de nitrógeno total y nitrógeno amoniacal. Resultados sobre materia seca.

Zona A (montón 2 meses)

Número de muestra	Nitrógeno total (N)			Nitrógeno amoniacal (N-NH ₄)		
	Resultados del análisis (kg/t estiércol)					
2044/12	36,01	36,19	35,88	9,23	9,16	-
2045/12	37,49	38,13	37,86	11,14	11,32	11,25
2046/12	47,37	48,31	47,39	17,24	17,49	17,97
2047/12	47,57	47,13	47,32	12,49	12,62	-
2048/12	34,10	34,18	34,51	8,92	8,76	8,83
2049/12	41,65	42,33	42,66	11,81	11,59	11,74
2050/12	38,45	38,75	38,46	11,54	10,71	11,12
2051/12	43,44	42,37	43,03	12,79	12,48	12,92
2052/12	39,79	38,69	38,49	8,41	9,04	8,73
2053/12	42,19	42,22	41,59	11,48	11,86	11,06
2054/12	37,21	37,99	37,95	11,33	11,88	-
2055/12	43,24	42,85	43,11	13,89	13,55	-
2056/12	42,99	43,06	42,74	14,97	13,49	-
2057/12	51,22	50,82	51,66	13,90	15,64	15,33
2058/12	39,03	38,92	39,29	10,95	10,64	10,23
2059/12	42,22	43,34	43,41	11,52	12,60	-

Zona B (Montón 6 meses)

Número de muestra	Nitrógeno total (N)			Nitrógeno amoniacal (N-NH ₄)		
	Resultados del análisis (kg/t estiércol)					
2060/12	38,50	39,19	38,26	9,01	9,14	-
2061/12	45,42	44,84	44,27	12,17	12,54	-

Zona C (Montón 12 meses)

Número de muestra	Nitrógeno total (N)			Nitrógeno amoniacal (N-NH ₄)		
	Resultados del análisis (kg/t estiércol)					
2062/12	35,18	34,89	34,83	7,35	7,31	7,33
2063/12	45,26	45,47	45,13	15,20	15,39	14,97

Perfil 2 meses

Número de muestra	Nitrógeno total (N)			Nitrógeno amoniacal (N-NH ₄)		
	Resultados del análisis (kg/t estiércol)					
2064/12	41,05	41,18	41,31	17,50	16,74	16,86
2065/12	49,29	49,38	48,24	25,35	24,29	-
2066/12	43,56	43,74	-	15,82	15,70	15,55

Perfil 12 meses

Número de muestra	Nitrógeno total (N)			Nitrógeno amoniacal (N-NH ₄)		
	Resultados del análisis (kg/t estiércol)					
2067/12	36,04	35,85	36,33	8,25	8,61	8,99
2068/12	45,14	43,99	44,32	11,38	11,98	11,79
2069/12	40,68	39,93	40,52	5,74	6,22	6,70

Cascarilla de arroz

Número de muestra	Nitrógeno total (N)			Nitrógeno amoniacal (N-NH ₄)		
	Resultados del análisis (kg/t estiércol)					
2070/12	3,30	3,36	3,72	0,47	0,41	-

Anejo 2: Caracterización de fósforo por espectrofotometría. Resultados sobre materia seca.

Zona A (montón 2 meses)

Número de muestra	Fósforo (P_2O_5)	
	Resultados análisis (kg/t estiércol)	
2044/12	22,40	21,90
2045/12	25,90	25,50
2046/12	24,90	25,80
2047/12	27,80	26,70
2048/12	27,40	24,40
2049/12	28,00	26,00
2050/12	32,00	26,60
2051/12	25,80	28,70
2052/12	27,00	31,60
2053/12	29,10	27,10
2054/12	23,30	23,50
2055/12	26,30	27,20
2056/12	26,80	26,40
2057/12	26,10	25,20
2058/12	26,00	24,50
2059/12	24,90	24,70

Zona B (Montón 6 meses)

Fósforo (P_2O_5)		
Número de muestra	Resultados análisis (kg/t estiércol)	
2060/12	30,50	30,30
2061/12	35,70	24,90

Zona C (Montón 12 meses)

Fósforo (P_2O_5)		
Número de muestra	Resultados análisis (kg/t estiércol)	
2062/12	26,50	38,20
2063/12	30,40	30,90

Perfil 2 meses

Fósforo (P_2O_5)		
Número de muestra	Resultados análisis (kg /t estiércol)	
2064/12	22,40	24,90
2065/12	24,50	25,10
2066/12	28,30	22,10

Perfil 12 meses

Fósforo (P_2O_5)		
Número de muestra	Resultados análisis (kg /t estiércol)	
2067/12	24,90	25,80
2068/12	35,10	35,80
2069/12	26,30	32,70

Cascarilla de arroz

Fósforo (P_2O_5)		
Número de muestra	Resultados análisis (kg /t estiércol)	
2070/12	0,50	0,70

Anejo 3: Humedad. Resultados sobre materia fresca.

Zona A (montón 2 meses)

Número de muestra	Humedad	
	Resultados (% H ₂ O)	
2044/12	21,62	18,96
2045/12	18,20	19,20
2046/12	32,40	32,46
2047/12	23,80	24,03
2048/12	18,23	18,10
2049/12	25,28	23,59
2050/12	28,41	25,96
2051/12	30,74	31,46
2052/12	23,49	25,90
2053/12	30,71	29,27
2054/12	22,67	23,17
2055/12	27,80	27,74
2056/12	28,09	26,42
2057/12	32,16	31,76
2058/12	19,82	24,00
2059/12	17,48	17,78

Zona B (Montón 6 meses)

Humedad		
Número de muestra	Resultados (% H ₂ O)	
2060/12	22,50	22,58
2061/12	17,83	17,87

Zona C (Montón 12 meses)

Humedad		
Número de muestra	Resultados (% H ₂ O)	
2062/12	14,21	13,09
2063/12	20,44	16,53

Perfil 2 meses

Humedad		
Número de muestra	Resultados (% H ₂ O)	
2064/12	19,77	24,80
2065/12	33,48	33,56
2066/12	33,60	33,02

Perfil 12 meses

Número de muestra	Humedad	
	Resultados (% H₂O)	
2067/12	8,06	8,41
2068/12	8,95	9,19
2069/12	40,37	34,28

Cascarilla de arroz

Número de muestra	Humedad	
	Resultados (% H₂O)	
2070/12	1,89	1,90

Anejo 4: Caracterización de potasio por absorción atómica. Resultados sobre materia seca.

Zona A (montón 2 meses)

Número de muestra	Potasio (K₂O)	
	Resultados análisis (kg/t estiércol)	
2044/12	27,17	25,19
2045/12	34,43	32,34
2046/12	32,68	33,86
2047/12	32,89	31,18
2048/12	33,42	30,32
2049/12	33,74	32,95
2050/12	37,91	34,24
2051/12	34,29	35,17
2052/12	40,53	26,26
2053/12	31,06	35,32
2054/12	30,42	31,32
2055/12	33,94	34,95
2056/12	32,18	32,94
2057/12	32,79	33,36
2058/12	38,76	38,49
2059/12	37,28	36,94

Zona B (montón 6 meses)

Potasio (K₂O)		
Número de muestra	Resultados análisis (kg/t estiércol)	
2060/12	40,81	42,09
2061/12	41,03	43,31

Zona C (montón 12 meses)

Potasio (K₂O)		
Número de muestra	Resultados análisis (kg/t estiércol)	
2062/12	45,73	42,64
2063/12	46,37	47,29

Perfil 2 meses

Potasio (K₂O)		
Número de muestra	Resultados análisis (kg/t estiércol)	
2064/12	32,68	-
2065/12	31,14	-
2066/12	27,83	32,57

Perfil 12 meses

	Potasio (K₂O)	
Número de muestra	Resultados análisis (kg/t estiércol)	
2067/12	33,60	38,84
2068/12	27,35	29,30
2069/12	29,32	32,24

Cascarilla de arroz

	Potasio (K₂O)	
Número de muestra	Resultados análisis (kg/t estiércol)	
2070/12	5,37	5,71

Anejo 5: Caracterización de calcio, magnesio y sodio por ICP. Resultados sobre materia seca.

Zona A (montón 2 meses)

Número de muestra	Calcio (CaO)	
	Resultados análisis (kg/t estiércol)	
2044/12	102,37	45,84
2045/12	46,52	38,13
2046/12	33,78	24,55
2047/12	31,81	30,10
2048/12	30,30	20,81
2049/12	35,33	29,00
2050/12	32,25	24,75
2051/12	26,98	22,78
2052/12	26,99	35,32
2053/12	36,33	37,23
2054/12	59,43	47,53
2055/12	34,98	25,44
2056/12	37,06	38,50
2057/12	43,06	35,41
2058/12	46,13	43,22
2059/12	25,16	28,72

	Magnesio (MgO)				Sodio (Na)			
Número de muestra	Resultados análisis (kg/t estiércol)				Resultados análisis (kg/t estiércol)			
2044/12	21,43	24,46	26,94	23,27	4,13	4,04	5,04	3,82
2045/12	28,00	28,53	27,10	21,18	6,26	6,06	6,54	4,74
2046/12	20,61	21,19	27,34	21,90	5,82	5,56	6,87	5,11
2047/12	28,26	29,01	27,92	24,73	6,32	6,14	6,53	4,79
2048/12	28,34	28,91	24,45	19,43	5,97	5,77	5,86	4,39
2049/12	27,05	27,74	22,77	20,30	6,03	5,79	6,00	4,51
2050/12	31,35	31,68	29,56	26,45	6,96	6,64	9,02	6,80
2051/12	26,23	26,41	30,32	26,90	6,81	6,53	7,63	5,72
2052/12	29,99	29,92	19,32	17,23	7,99	7,40	5,79	4,29
2053/12	29,75	14,04	12,80	-	8,35	4,13	3,16	-
2054/12	27,62	27,25	24,85	-	5,84	5,95	4,44	-
2055/12	29,42	27,51	24,85	-	7,06	6,77	4,92	-
2056/12	27,84	26,83	24,41	-	6,73	5,78	4,24	-
2057/12	27,60	27,17	24,15	-	6,39	6,16	4,68	-
2058/12	26,01	28,65	27,70	-	6,48	6,79	-	-
2059/12	27,70	26,74	25,91	-	6,31	6,25	5,86	-

Zona B (montón 6 meses)

Calcio (CaO)		
Número de muestra	Resultados análisis (kg/t estiércol)	
2060/12	33,56	29,30
2061/12	-	25,00

	Magnesio (MgO)	Sodio (Na)
Número de muestra	Resultados análisis (kg/t estiércol)	Resultados análisis (kg/t estiércol)
2060/12	30,96	31,39
2061/12	24,55	26,45

Zona C (montón 12 meses)

Calcio (CaO)		
Número de muestra	Resultados análisis (kg/t estiércol)	
2062/12	28,40	37,09
2063/12	37,76	38,21

	Magnesio (MgO)	Sodio (Na)
Número de muestra	Resultados análisis (kg/t estiércol)	Resultados análisis (kg/t estiércol)
2062/12	28,12	25,40
2063/12	30,03	31,07

Perfil 2 meses

Calcio (CaO)		
Número de muestra	Resultados análisis (kg/t estiércol)	
2064/12	27,82	17,63
2065/12	-	24,68
2066/12	-	29,80

Número de muestra	Magnesio (MgO)		Sodio (Na)	
	Resultados análisis (kg/t estiércol)		Resultados análisis (kg/t estiércol)	
2064/12	23,89	16,22	4,73	4,37
2065/12	22,09	15,94	4,45	4,45
2066/12	28,67	20,85	4,10	4,31

Perfil 12 meses

Calcio (CaO)		
Número de muestra	Resultados análisis (kg/t estiércol)	
2067/12	59,60	65,11
2068/12	51,37	58,52
2069/12	43,98	49,99

	Magnesio (MgO)		Sodio (Na)	
Número de muestra	Resultados análisis (kg/t estiércol)		Resultados análisis (kg/t estiércol)	
2067/12	27,00	27,54	6,00	5,86
2068/12	36,77	37,93	3,59	3,53
2069/12	20,20	32,04	4,52	4,58

Cascarilla de arroz

	Calcio (CaO)	
Número de muestra	Resultados análisis (kg/t estiércol)	
2070/12	-	2,33

	Magnesio (MgO)		Sodio (Na)	
Número de muestra	Resultados análisis (kg/t estiércol)		Resultados análisis (kg/t estiércol)	
2070/12	0,97	1,01	0,24	0,26

Anejo 6: Caracterización de cobre, hierro, manganeso y zinc por absorción atómica. Resultados sobre materia seca.

	Cobre (Cu)	Hierro (Fe)	Manganeso (Mn)	Zinc (Zn)
Número de muestra	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
2044/12	44,32	3878,78	428,72	449,17
2045/12	52,12	2939,99	450,04	503,05
2046/12	45,43	1848,11	402,39	490,89
2047/12	47,06	1981,00	436,04	499,75
2048/12	57,93	1880,02	443,62	514,12
2049/12	48,05	-	-	671,77
2050/12	57,26	-	-	609,76
2051/12	49,99	-	-	538,23
2052/12	49,26	-	-	607,37
2053/12	54,25	-	-	630,17
2054/12	41,11	-	-	521,92
2055/12	49,99	-	-	592,72
2056/12	45,92	-	-	507,73
2057/12	41,37	-	-	500,55
2064/12	42,99	-	-	430,77
2065/12	44,30	-	-	468,93
2066/12	54,29	-	-	515,27
2068/12	63,84	-	-	635,48
2069/12	66,04	-	-	629,37
2070/12	0	-	-	22,54

Anejo 7: Resultados de análisis de materia orgánica.

Zona A (montón 2 meses)

Número de muestra	Materia inorgánica y orgánica	
	Resultados análisis (% M.I.)	Resultados análisis (% M.O.)
2044/12	29,20	70,80
2045/12	28,20	71,80
2046/12	24,27	75,83
2047/12	22,04	77,96
2048/12	24,88	75,12
2049/12	25,75	74,25
2050/12	24,49	75,51
2051/12	24,18	75,82
2052/12	25,59	74,41
2053/12	27,05	72,95
2054/12	36,87	63,13
2055/12	24,55	75,45
2056/12	24,30	75,70
2057/12	24,70	75,30
2058/12	26,67	73,33
2059/12	23,80	76,20

Zona B (Montón 6 meses)

Materia inorgánica y orgánica		
Número de muestra	Resultados análisis (% M.I.)	Resultados análisis (% M.O.)
2060/12	26,72	73,28
2061/12	25,87	74,13

Zona C (Montón 12 meses)

Materia inorgánica y orgánica		
Número de muestra	Resultados análisis (% M.I.)	Resultados análisis (% M.O.)
2062/12	36,49	63,51
2063/12	30,59	69,41

Perfil 2 meses

Materia inorgánica y orgánica		
Número de muestra	Resultados análisis (% M.I.)	Resultados análisis (% M.O.)
2064/12	25,70	74,30
2065/12	23,00	77,00
2066/12	24,89	75,11

Perfil 12 meses

Materia inorgánica y orgánica		
Número de muestra	Resultados análisis (% M.I.)	Resultados análisis (% M.O.)
2067/12	36,15	63,85
2068/12	31,66	68,34
2069/12	31,80	68,20

Cascarilla de arroz

Materia inorgánica y orgánica		
Número de muestra	Resultados análisis (% M.I.)	Resultados análisis (% M.O.)
2070/12	16,01	83,99