



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA ALIMENTACIÓN ANIMAL
SOBRE LA CALIDAD DE ESTIÉRCOLES COMO FERTILIZANTES**

Dra. Yusmary Espinoza
Tutor Académico

Autores:

Br. Marcos J. Hernández Z.
Br. Teresa V. Barrera Ch.

Valencia, 28 de julio de 2008



AGRADECIMIENTOS

Primeramente queremos expresar nuestro agradecimiento a Dios todopoderoso, quien ilumina con su luz nuestro camino y quien por su voluntad hace posibles todas las cosas. De igual forma, el más sincero agradecimiento a nuestros padres por el incondicional apoyo material, moral y espiritual, sin el cual no hubiese sido posible la realización del presente trabajo y la culminación de la carrera.

También agradecemos al Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, por el financiamiento de la investigación y el apoyo logístico ofrecido para su realización. Particularmente a la Dra. Yusmary Espinoza, Jefe del Laboratorio de Biología de la Unidad de Laboratorios de Recursos Agroecológicos, quien dirigió el desarrollo de este trabajo, aportando siempre su consejo y su colaboración.

De igual forma queremos dar las gracias al personal técnico y obrero de los laboratorios, por toda la colaboración brindada para que todo el trabajo experimental se condujera con el menor contratiempo posible.



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado para estudiar el Trabajo Especial de Grado Titulado: **“EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA ALIMENTACIÓN ANIMAL SOBRE LA CALIDAD DE ESTIÉRCOLES COMO FERTILIZANTES”**, realizado por los bachilleres Marcos J. Hernández Z., C.I. 16896082 y Teresa V. Barrera Ch. C.I. 17062357, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo y que no nos hacemos responsables de su contenido, pero lo encontramos correcto en su forma y presentación.

Prof. Yusmary Espinoza
Presidente

Prof. Alberto M. Pitre
Jurado

Prof. Edwin Oviedo
Jurado



RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo general la evaluación del efecto de la dieta diaria de vacunos, porcinos y aves sobre la calidad como fertilizante del estiércol producido. Con tal fin, se plantearon como objetivos específicos: (1) la selección de los estiércoles a estudiar en base a la dieta de los animales, (2) la determinación de sus propiedades químicas, (3) el fraccionamiento biológico de la materia orgánica de los mismos, (4) la determinación de sus características biológicas y (5) la determinación de las relaciones entre el tipo de dieta del animal y la calidad como fertilizante de cada estiércol para precisar cuales pueden ser recomendados como fertilizantes.

El estudio analítico y experimental fue llevado a cabo en la Unidad de Laboratorios de Recursos Agroecológicos del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Se trabajó con un diseño experimental completamente al azar, con cuatro repeticiones. Los tratamientos consistieron en tres tipos de estiércol: vacuno o bosta (B), de gallina o gallinaza (G) y porcino o cerdaza (C), en combinación con dos diferentes regimenes alimenticios suministrados a los animales (A1 y A2), lo cual arrojó un total de seis tratamientos.

Para el cumplimiento de los objetivos propuestos se efectuaron visitas a diferentes granjas ubicadas en diversas localidades del país y se seleccionaron los estiércoles en base a niveles de diferencia entre las dietas suministradas a los animales. Posteriormente, se determinó la composición química de las excretas animales (EA) en base al contenido de macro y microelementos, el pH, conductividad eléctrica, relación C/N, biomasa microbiana, contenido de bacterias y hongos totales y contenido de bacterias coliformes (totales y fecales). Además, para realizar el fraccionamiento de la materia orgánica, se realizó la incubación de las EA por 35 días y se determinó la evolución del N y el C en el tiempo.

La diferencia entre las dietas suministradas a las gallinas y a los porcinos ocasionó variaciones significativas en las propiedades de sus estiércoles, sin embargo, la diferencia entre las dietas de los vacunos generalmente no causó variaciones



importantes. Según los resultados obtenidos, las bostas estudiadas representaban el menor aporte nutricional para las plantas, las gallinazas el mayor aporte nutricional y la mayor disponibilidad de nutrientes, y las cerdazas la mayor potencialidad de daños a la salubridad y contaminación del ambiente, respecto al resto de las EA. El alto contenido de coliformes fecales en todas las EA estudiadas excedió los contenidos máximos permitidos internacionalmente de estos patógenos en abonos.

Mediante una matriz de ponderación se evaluó la calidad como fertilizante de cada una de las EA. En cuanto a los criterios de evaluación, se consideró el aporte nutricional para las plantas, la disponibilidad de los nutrientes y la potencialidad de daños a la salubridad y contaminación del ambiente. Se obtuvo que la gallinaza proveniente de gallinas ponedoras fue el estiércol de mayor calidad en base a los criterios considerados.

Entre otros aspectos, se concluyó que las dietas de mayor calidad, como los alimentos concentrados suministrados a los animales en los sistemas de producción intensivos, producen EA de mayor aporte nutricional para las plantas y de mayor disponibilidad de los nutrientes, mientras que una alimentación natural, sin aditivos como el pasto suministrado a los vacunos en los sistemas de producción extensivos, produce EA con menor potencialidad de daños a la salubridad y contaminación del ambiente.

Se recomienda a los productores agrícolas el secado y el tratamiento de las EA antes de su utilización como fertilizantes en los cultivos con la finalidad de mejorar las condiciones de almacenamiento, manejo y mantenimiento.

Palabras clave: estiércol, dieta, alimentación, calidad, fertilizante.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
 CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	6
1.2.1 Situación actual.....	6
1.2.2 Situación deseada.....	7
1.3 OBJETIVOS.....	7
1.3.1 Objetivo general.....	7
1.3.2 Objetivos específicos.....	7
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	8
1.5 LIMITACIONES.....	9
 CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	
2.1 ANTECEDENTES.....	10
2.2 BASES TEÓRICAS.....	15
2.2.1 Nutrición vegetal.....	15
2.2.1.1 Factores que afectan la disponibilidad de nutrientes para las plantas.....	15
2.2.1.2 Nutrientes esenciales.....	16
2.2.2 Fertilizantes.....	21
2.2.2.1 El estiércol como fertilizante.....	21
2.2.2.1.1 Materia orgánica.....	22
2.2.2.1.2 Mineralización.....	23
2.2.2.2 Parámetros que definen la calidad de un estiércol.....	25
2.2.2.2.1 Composición química.....	26
2.2.2.2.2 Potencial hidrógeno (pH).....	26



2.2.2.2.3 Conductividad eléctrica.....	26
2.2.2.2.4 Fracciones de C y N.....	27
2.2.2.2.5 Respiración microbiana.....	28
2.2.2.2.6 Relación C/N.....	29
2.2.2.2.7 Abundancia microbiana.....	30
2.2.2.3 Inconvenientes del uso de estiércol.....	32
2.2.2.4 Tratamientos aplicados a los estiércoles.....	32
2.2.3 Nutrición y alimentación animal.....	33
2.2.3.1 Alimentos.....	33
2.2.3.2 Aparato digestivo.....	34
2.2.3.3 Excreción fecal.....	36
2.3 MARCO CONCEPTUAL.....	37

CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	41
3.2 ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN.....	41
3.2.1 Selección de dos estiércoles vacuno, porcino y gallinaza en base a la dieta de los animales.....	41
3.2.1.1 Procesamiento de las muestras.....	42
3.2.2 Determinación de las propiedades químicas de los estiércoles.....	43
3.2.2.1 Composición química o nutricional.....	43
3.2.2.1.1 K, Ca, Mg y micronutrientes (Fe, Zn, Cu y Mn).....	43
3.2.2.1.2 P y S.....	44
3.2.2.1.3 N total.....	44
3.2.2.2 pH.....	44
3.2.2.3 Conductividad eléctrica.....	44
3.2.3 Fraccionamiento de la materia orgánica de los estiércoles.....	45
3.2.3.1 C potencialmente mineralizable y tasa de mineralización.....	45
3.2.3.2 Evolución del N mineral.....	46
3.2.3.3 Biomasa microbiana.....	47



3.2.3.4 N y C orgánico total (NOT y COT).....	48
3.2.3.5 Relación C/N.....	49
3.2.4 Evaluación de las características biológicas de los estiércoles.....	49
3.2.4.1 Bacterias y hongos.....	49
3.2.4.2 Abundancia de microorganismos patógenos: coliformes totales y fecales.....	49
3.2.5 Determinación de las relaciones entre el tipo de dieta del animal y la calidad como fertilizante del estiércol que produce.....	50

CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 SELECCIÓN DE DOS ESTIÉRCOLES VACUNO, PORCINO Y GALLINAZA EN BASE A LA DIETA DE LOS ANIMALES.....	52
4.2 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS ESTIÉRCOLES.....	54
4.2.1 Composición química.....	54
4.2.1.1 Macroelementos.....	54
4.2.1.2 Microelementos.....	60
4.2.2 pH.....	63
4.2.3 Conductividad eléctrica.....	64
4.3 REALIZACIÓN DEL FRACCIONAMIENTO DE LA MATERIA ORGÁNICA DE LOS ESTIÉRCOLES.....	66
4.3.1 Carbono mineralizable y tasa de mineralización.....	66
4.3.2 C potencialmente mineralizable (C_0) y velocidad de mineralización específica (k_C).....	71
4.3.3 Evolución del N mineral en el tiempo de incubación.....	72
4.3.4 Biomasa microbiana.....	79
4.3.5 N y C orgánico total.....	80
4.3.6 Relación C/N.....	81
4.4 EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS DE LOS ESTIÉRCOLES.....	82



4.4.1 Bacterias y hongos.....	82
4.4.2 Abundancia de coliformes totales y fecales.....	84
4.5 DETERMINACIÓN DE LAS RELACIONES ENTRE EL TIPO DE DIETA DEL ANIMAL Y LA CALIDAD COMO FERTILIZANTE DEL ESTIÉRCOL QUE PRODUCE.....	86
4.5.1 Calidad química.....	86
4.5.2 Calidad biológica.....	90
4.5.3 Calidad bioquímica.....	91
4.5.4 Matriz de ponderación.....	93
4.5.4.1 Necesidades nutricionales de las plantas.....	93
4.5.4.2 Disponibilidad de nutrientes para las plantas.....	93
4.5.4.3 Potencialidad de daños a la salubridad y contaminación del ambiente.....	94
4.5.5 Evaluación general de la calidad.....	95
CONCLUSIONES.....	98
RECOMENDACIONES.....	100
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103
APÉNDICES	
APÉNDICE A: ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	111
APÉNDICE B: DETERMINACIÓN DE C_0 Y k_C	126



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Procedencia de los estiércoles vacunos (bostas), porcinos (cerdazas) y de gallinas (gallinazas) seleccionados, sistemas de producción y dieta de los animales que lo proporcionaron.....	53
Tabla 2. Humedad promedio ($n = 4$) de las muestras de estiércol vacuno (B), porcino (C) y de gallina (G).....	54
Tabla 3. pH promedio ($n = 4$) de las muestras de estiércol vacuno (B), porcino (C) y de gallina (G).....	64
Tabla 4. Carbono potencialmente mineralizable promedio ($n = 4$) con su respectiva velocidad de mineralización específica en estiércol vacuno (B), porcino (C) y de gallina (G).....	72
Tabla 5. Nitrógeno amoniacal y nítrico promedio ($n = 4$) en estiércol vacuno (B), porcino (C) y de gallina (G).....	72
Tabla 6. Carbono y nitrógeno de la biomasa microbiana promedios ($n = 4$) en estiércol vacuno (B), porcino (C) y de gallina (G).....	79
Tabla 7. Carbono y nitrógeno orgánico total y relación C/N promedios ($n = 4$) en estiércol vacuno (B), porcino (C) y de gallina (G).....	80
Tabla 8. Fracciones del carbono orgánico total promedios ($n = 4$) en estiércol vacuno (B), porcino (C) y de gallina (G).....	81
Tabla 9. Niveles aceptables y óptimos de parámetros de residuos a ser utilizados en aplicaciones agrícolas.....	87
Tabla 10. Clasificación de los valores de diferentes parámetros en compost según normativa española.....	87
Tabla 11. Contenido de metales pesados permitidos a nivel internacional en residuos a ser utilizados en aplicaciones agrícolas.....	89
Tabla 12. Matriz para evaluar la calidad de los estiércoles como fertilizantes.....	97



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Nitrógeno total promedio ($n = 4$) en estiércol de vacuno (bosta), estiércol de gallina (gallinaza) y estiércol de porcino (cerdaza).....	55
<i>Figura 2.</i> Fósforo promedio ($n = 4$) en estiércol de vacuno (bosta), estiércol de gallina (gallinaza) y estiércol de porcino (cerdaza).....	56
<i>Figura 3.</i> Potasio promedio ($n = 4$) en estiércol de vacuno (bosta), estiércol de gallina (gallinaza) y estiércol de porcino (cerdaza).....	56
<i>Figura 4.</i> Magnesio promedio ($n = 4$) en estiércol de vacuno (bosta), estiércol de gallina (gallinaza) y estiércol de porcino (cerdaza).....	57
<i>Figura 5.</i> Calcio promedio ($n = 4$) en estiércol de vacuno (bosta), estiércol de gallina (gallinaza) y estiércol de porcino (cerdaza).....	57
<i>Figura 6.</i> Azufre disponible promedio ($n = 4$) en estiércol de vacuno (bosta), estiércol de gallina (gallinaza) y estiércol de porcino (cerdaza).....	58
<i>Figura 7.</i> Hierro promedio ($n = 4$) en estiércol de vacuno (bosta), estiércol de gallina (gallinaza) y estiércol de porcino (cerdaza).....	61
<i>Figura 8.</i> Cinc promedio ($n = 4$) en estiércol de vacuno (bosta), estiércol de gallina (gallinaza) y estiércol de porcino (cerdaza).....	61
<i>Figura 9.</i> Cobre promedio ($n = 4$) en estiércol de vacuno (bosta), estiércol de gallina (gallinaza) y estiércol de porcino (cerdaza).....	62
<i>Figura 10.</i> Manganeso promedio ($n = 4$) en estiércol de vacuno (bosta), estiércol de gallina (gallinaza) y estiércol de porcino (cerdaza).....	62
<i>Figura 11.</i> Conductividad eléctrica promedio ($n = 4$) en estiércol de vacuno (bosta), estiércol de gallina (gallinaza) y estiércol de porcino (cerdaza).....	65
<i>Figura 12.</i> Tasa de producción de CO ₂ (a) y carbono mineralizado acumulado (b) en el tiempo de incubación. Cada valor es el promedio de 4 muestras de estiércol de vacuno (bosta) proveniente de animales bajo dos regimenes alimenticios distintos.....	67



Figura 13. Tasa de producción de CO₂ (a) y carbono mineralizado acumulado (b) en el tiempo de incubación. Cada valor es el promedio de 4 muestras de estiércol de gallina (gallinaza) proveniente de animales bajo dos regimenes alimenticios distintos.....68

Figura 14. Tasa de producción de CO₂ (a) y carbono mineralizado acumulado (b) en el tiempo de incubación. Cada valor es el promedio de 4 muestras de estiércol de porcino (cerdaza) proveniente de animales bajo dos regimenes alimenticios distintos.....69

Figura 15. Carbono de la respiración microbiana promedio ($n = 8$) acumulado en el tiempo de incubación del estiércol de vacuno (bosta), de gallina (gallinaza) y de porcino (cerdaza).....70

Figura 16. Amonio (a) y nitrato (b) promedio ($n = 4$) medido durante la incubación del estiércol de vacuno (bosta) proveniente de animales bajo dos regimenes alimenticios distintos.....74

Figura 17. Amonio (a) y nitrato (b) promedio ($n = 4$) medido durante la incubación del estiércol de gallina (gallinaza) proveniente de animales bajo dos regimenes alimenticios distintos.....75

Figura 18. Amonio (a) y nitrato (b) promedio ($n = 4$) medido durante la incubación del estiércol de porcino (cerdaza) proveniente de animales bajo dos regimenes alimenticios distintos.....76

Figura 19. Amonio (a) y nitrato (b) promedio ($n = 8$) medido durante la incubación del estiércol de vacuno (bosta), estiércol de gallina (gallinaza) y estiércol de porcino (cerdaza).....77

Figura 20. Bacterias totales promedio ($n = 4$) en estiércol de vacuno (bosta), estiércol de gallina (gallinaza) y estiércol de porcino (cerdaza).....83

Figura 21. Hongos totales promedio ($n = 4$) en estiércol de vacuno (bosta), estiércol de gallina (gallinaza) y estiércol de porcino (cerdaza).....84

Figura 22. Coliformes totales promedio ($n = 4$) en estiércol de vacuno (bosta), estiércol de gallina (gallinaza) y estiércol de porcino (cerdaza).....85



Figura 23. Coliformes fecales promedio ($n = 4$) en estiércol de vacuno (bosta), estiércol de gallina (gallinaza) y estiércol de porcino (cerdaza).....86



INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento de los estiércoles como fertilizantes, además de minimizar los costos a los productores agrícolas, también permite resolver problemas de fertilidad del suelo, mejorando su capacidad de retención de agua y favoreciendo el desarrollo de las plantas al aumentar su capacidad productiva y su resistencia a factores ambientales negativos, entre otros beneficios. La determinación de la calidad de los estiércoles es importante para la recomendación de aplicación como fertilizantes con efectos positivos en el rendimiento de los cultivos.

La supervisión de los niveles de nutrientes y otras características de calidad de los estiércoles son importantes para el cuidado adecuado del suelo y para prácticas agrícolas correctas. La correspondencia entre los aportes de nutrientes, el uso de estos por las plantas, los tipos de suelos y las prácticas agrícolas forman parte del cuidado responsable del ambiente. Aunque estos residuos tienen proporcionalmente pequeñas cantidades de nutrientes, las dosis que se aplican pueden hacerlos equivalentes a la aplicación de fertilizantes inorgánicos. El uso eficiente de los nutrientes provenientes de distintos tipos del estiércol depende de la concentración de los nutrientes, el método y momento de aplicación y la disponibilidad a corto y largo plazo de dichos nutrientes.

Tanto los agricultores como los productores de abonos a escala comercial deben monitorear la calidad del producto para asegurar una respuesta constante en el tiempo y no afectar en forma negativa el mercado con calidades variables. Sin embargo, la calidad de los estiércoles varía marcadamente entre especies animales y sitios de producción. El contenido nutricional y las características de la dieta que recibe el animal resulta un claro y rápido indicio para determinar la calidad, si se dispone de una base de estudios que abarquen el efecto de variados tipos de dietas.

Se plantea que la calidad del estiércol se encuentra relacionada con el alimento que consume el animal, es decir, cuando la dieta es de alta calidad, con una elevada cantidad de nutrientes, se producen estiércoles con alto valor nutritivo para



las plantas al emplearlos como fertilizantes, dependiendo del sistema digestivo del animal.

Con la finalidad de determinar la veracidad de la hipótesis planteada se realizará la evaluación de las propiedades químicas y las características biológicas y bioquímicas de dos tipos de estiércol vacuno, porcino y de gallina, de animales adaptados a diferentes dietas, en base al aporte nutricional que representa su aplicación como fertilizante, la disponibilidad de los nutrientes para las plantas y la potencialidad de daños a la salubridad y contaminación del ambiente.

El trabajo se encuentra conformado por cinco capítulos, los cuales se describen a continuación: Capítulo I: Planteamiento del Problema, conformado por la descripción del problema, formulación del problema (situación actual y deseada), objetivos, justificación y limitaciones; Capítulo II: Marco Teórico Conceptual, en el cual se presentan los antecedentes y las bases teóricas que sustentan la investigación; Capítulo III: Marco Metodológico, donde se describe el tipo de investigación y las etapas llevadas a cabo para el desarrollo de la misma; Capítulo IV: Resultados y Discusión, el cual consiste en la exposición, el análisis y la interpretación de los datos obtenidos de cada uno de los objetivos planteados. Adicionalmente, se presentan las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y por último, los apéndices que sustentan los resultados obtenidos.

La presente investigación tiene gran relevancia a nivel ambiental y social, ya que al conocer la composición de los estiércoles y su relación con la alimentación animal, se determinará su valor o calidad, tanto para usos agrícolas, pecuarios e industriales. A la vez se podrá evitar costos innecesarios al emplear cantidades excesivas en los cultivos y se podrá calcular la cantidad a aplicar y determinar los tratamientos previos más adecuados, con la finalidad de minimizar los riesgos de una contaminación potencial.



CAPÍTULO 1

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.- DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP-INIA) es una institución del estado venezolano adscrita al Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras. Se encuentra ubicado en Maracay, estado Aragua, y su función es promover el desarrollo agropecuario a través de la investigación y la extensión en áreas disciplinarias estratégicas a nivel nacional. El mismo impulsa y fortalece la investigación altamente especializada en manejo de suelos, aguas y plantas, control integrado de plagas y enfermedades, recursos genéticos vegetales, nutrición y fisiología animal, sanidad animal, biotecnología animal y vegetal, socioeconomía y sistemas de información, áreas de importancia para mejorar la sostenibilidad agropecuaria del país; así como actividades de extensión y formación de talentos humanos a través de programas conducentes (especialidad, maestría y doctorado).

Entre sus objetivos se encuentra la disminución de la dependencia de insumos y materia prima foránea, la reducción de los costos de producción, además del incremento de la apropiación de prácticas agrícolas adecuadas al trópico. Asimismo, la diversificación de alternativas de consumo con opción preferencial por las necesidades de poblaciones de bajos recursos, del uso de especies no tradicionales de importancia local, regional y nacional, y de los sistemas de producción bajo esquemas de agricultura tropical sostenibles. Finalmente, el aumento del valor agregado de las materias primas, productos y subproductos nacionales, bajo esquemas de calidad.



La utilización de los abonos orgánicos tales como estiércol, compost, abonos verdes, etc., es una tecnología sencilla, de bajo costo y al alcance de los agricultores en todas las zonas del país. Este sistema de fertilización con recursos orgánicos se ha utilizado desde tiempos muy remotos en todas las civilizaciones del mundo con muy buenos resultados, permitiendo la producción de alimento en cantidades suficientes. En la actualidad viene adquiriendo gran importancia para el desarrollo de la agricultura alternativa denominada “Agricultura Orgánica” o “Agricultura Biológica”. La aplicación de estos abonos permite resolver los problemas de la fertilidad del suelo, mediante el incremento de su materia orgánica (MO), lo cual mejora la capacidad de retención de agua, aireación, infiltración y favorece el desarrollo de las plantas, además de aumentar su capacidad de resistencia a factores ambientales adversos.

En la ganadería bovina, porcina y en la avicultura se generan grandes volúmenes de desechos orgánicos, tanto líquidos como sólidos, los cuales con un manejo y tratamiento adecuados pueden convertirse en un gran recurso orgánico que puede ser utilizado por los productores agrícolas como fertilizante a precios accesibles. Se denomina estiércol a las excretas animales (EA) que se utilizan para fertilizar los cultivos por ser una fuente excelente de nutrientes (CENIAP-INIA, 2007).

El proceso mediante el cual un residuo orgánico como las EA es degradado a sus componentes inorgánicos es conocido como mineralización. Este es gobernado por las propiedades biológicas, físicas y químicas del suelo y es función de la calidad de dicho residuo, su temperatura y su humedad. El nitrógeno, el fósforo y el potasio son liberados mediante este proceso, así como otros nutrientes esenciales para las plantas (Espinoza, 2004).

El N y el C orgánico de la MO se componen de tres fracciones. La fracción más lábil, que consiste en el N y el C de la biomasa microbiana (BM), otra fracción lábil no microbiana y una fracción estable. Las dos fracciones lábiles constituyen el N y el C potencialmente mineralizables, los cuales pueden ser determinados por la incubación controlada de las muestras. La BM es la principal responsable de la



descomposición de los residuos orgánicos, ciclo de nutrientes y flujo de energía dentro del ecosistema suelo, y tiene por tanto, en general, un efecto beneficioso sobre el desarrollo vegetal.

La comprensión de los factores que regulan la actividad microbiológica es de interés debido a la importancia que ésta tiene en el mantenimiento de la fertilidad del suelo y la nutrición de las plantas. El número de microorganismos, la respiración microbiana y la mineralización del C orgánico son indicadores de la actividad microbiana y, por lo tanto, de la calidad del estiércol como fertilizante.

Por otra parte, el uso indiscriminado de las EA sin someterlas a un tratamiento previo puede traer consigo la contaminación de la superficie del suelo, las aguas subterráneas y/o la atmósfera. La presencia de metales pesados, de bacterias y hongos que pueden competir con las plantas por los nutrientes en el suelo y/o que pueden causar enfermedades tanto a los cultivos como a los humanos y animales del entorno. Además, la aplicación de las EA como abono por largos periodos de tiempo puede alterar desproporcionadamente los niveles de nutrientes del suelo.

El contenido de nutrientes en las EA es muy variable, y es dependiente de una gran cantidad de factores, entre ellos su origen (estiércol de pollos, de porcinos, de vacunos, de caprinos, etc.), el tipo de alimento que recibe el animal y el tipo de instalaciones que condicionará su manejo. Es necesario conocer sus características químicas, biológicas y bioquímicas para poder calcular la cantidad de estiércol a aplicar y a la vez determinar el tratamiento previo más adecuado, con la finalidad de maximizar su productividad y minimizar los costos y los riesgos de contaminación.

La calidad del estiércol se encuentra relacionada con el alimento que consume el animal. Un alimento con alto contenido de fibra proporcionará una abundante cantidad de excretas, con material carbonado recalcitrante, es decir, difícil de descomponer. Cuando la dieta del animal es de mejor calidad, con mayor cantidad de nutrientes, es mejor digerido y más aprovechado. Las excretas que producen son menores en volumen pero el material se descompone más fácilmente, trayendo como consecuencia la liberación de nutrientes necesarios para las plantas (Espinoza, comunicación personal).



Considerando la necesidad que tienen los productores agrícolas de contar no sólo con fertilizantes efectivos obtenidos a precios accesibles, sino también que aseguren la sustentabilidad del sistema de producción, se plantea la evaluación de dos tipos de estiércoles vacunos, dos porcinos y dos gallinazas de animales adaptados a diferentes dietas, mediante la determinación de sus características químicas, biológicas y bioquímicas referentes a su calidad como fertilizante, y la determinación de relaciones entre dichas características y la dieta.

1.2.- FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El contenido de elementos nutritivos y la actividad microbiológica en las EA se encuentran relacionados con la calidad de la dieta y con otros factores asociados al sistema de producción animal. La disponibilidad de dichos nutrientes para las plantas depende de procesos de descomposición de la MO que lo compone, los cuales se relacionan directamente con la calidad del estiércol.

En la búsqueda de la disminución de la dependencia de insumos foráneos, la reducción de los costos de producción y en el incremento de la apropiación de prácticas agrícolas sustentables, en este sentido se plantea estudiar la influencia de diversos tipos de alimentación animal sobre diversos parámetros químicos, biológicos y bioquímicos del estiércol, relacionados a su calidad como fertilizante.

1.2.1.- Situación actual

La aplicación de EA como fertilizantes en los cultivos por parte de muchos agricultores es excesiva, debido al desconocimiento de su aporte nutritivo, esto genera costos innecesarios y contaminación ambiental. El CENIAP-INIA tiene un especial interés en determinar la influencia de la alimentación animal sobre la calidad de las EA como fertilizantes, a fin de generar una base que defina el aporte nutritivo, desde el punto de vista químico, y el aporte microbiológico de las mismas.

Si no se evalúa la influencia de la alimentación animal sobre la calidad de las EA, entonces se estaría frente a:

- Desconocimiento del efecto del tipo de alimentación que se le proporciona al animal, sobre la descomposición de la MO del estiércol.
- Deficitaria información del aporte nutritivo y microbiológico de las EA a los cultivos.

1.2.2.- Situación deseada

El CENIAP-INIA requiere disponer de un estudio que determine la influencia de diversos tipos de alimentación animal sobre los nutrientes, su disponibilidad y la actividad microbiológica del estiércol y de esta manera evaluar su calidad como fertilizante, proporcionando una base desde el punto de vista químico, biológico y bioquímico que la defina, y de esta manera dar recomendaciones de su uso como fertilizante a los agricultores para su aprovechamiento óptimo a precios accesibles.

En cuanto al alcance, se evaluarán dos tipos de estiércol vacuno, dos porcino y dos gallinazas provenientes de animales adaptados a diferentes dietas, mediante la determinación de sus propiedades químicas, biológicas y bioquímicas referentes a su calidad como fertilizante, y se determinarán las relaciones entre dicha calidad y la dieta del animal.

1.3.- OBJETIVOS

1.3.1.- Objetivo general

Evaluar el efecto de la dieta diaria de vacunos, porcinos y aves sobre la calidad como fertilizante del estiércol producido.

1.3.2.- Objetivos específicos

1. Seleccionar dos estiércoles vacuno, porcino y gallinaza en base a la dieta de los animales para conocer si la misma produce cambios significativos en el valor como fertilizante.
2. Determinar las propiedades químicas de los estiércoles para precisar el aporte nutritivo de estos a las plantas al emplearlos como fertilizante.



3. Realizar el fraccionamiento biológico de la materia orgánica de los estiércoles para conocer sus fracciones lábiles tanto de carbono como de nitrógeno.
4. Evaluar las características microbiológicas de los estiércoles para así poder definir su potencialidad como contaminante.
5. Determinar las relaciones entre el tipo de dieta del animal y la calidad como fertilizante de cada estiércol para precisar cuales pueden ser recomendados como fertilizantes.

1.4.- JUSTIFICACIÓN

La presente investigación tiene gran relevancia a nivel ambiental y social, ya que al conocer la composición de las EA y su relación con la alimentación animal, se determinará su valor o calidad, tanto para usos agrícolas, pecuarios e industriales. A la vez se podrá evitar costos innecesarios al emplear cantidades excesivas en los cultivos y se podrá calcular la cantidad a aplicar y determinar los tratamientos previos más adecuados, con la finalidad de minimizar los riesgos de una contaminación potencial.

Además, el uso de las EA como fertilizantes es un objetivo deseable para la sustentabilidad de los cultivos, porque un suelo con más MO, es un suelo más productivo. La MO es un componente clave del sistema suelo dada su influencia sobre las propiedades biológicas, físicas y químicas que definen su productividad, su calidad y su salud.

La elaboración del presente Trabajo Especial de Grado resulta conveniente ya que contribuiría al CENIAP-INIA, específicamente a la Unidad de Laboratorios, en el desarrollo de recomendaciones de uso de las EA como fertilizantes. De igual forma es importante señalar que se llevarán a cabo prácticas que permitirán reforzar conocimientos teóricos y habilidades adquiridas a lo largo de la carrera de Ingeniería Química, específicamente en las áreas de química analítica y fisicoquímica, además de adquirir experiencia en el ámbito laboral y de la investigación.



Entre las implicaciones prácticas se encuentra el hecho de proporcionar una base desde el punto de vista químico, biológico y bioquímico que defina la calidad de las EA, con el fin de dar recomendaciones de su aplicación como fertilizante a los productores agrícolas y pecuarios para su aprovechamiento óptimo a precios accesibles.

Por otra parte, es un valor teórico relevante para la comunidad estudiantil y docente de la Universidad de Carabobo, ya que permitirá aportar conocimientos relacionados con la influencia de la alimentación animal en la calidad de las EA como fertilizantes, información que puede resultar de interés para futuras investigaciones a realizarse tanto en esta como en otras instituciones educativas.

Finalmente, la presente investigación tiene un aporte metodológico ya que ofrece una alternativa para la determinación de características químicas, biológicas y bioquímicas de las EA, proporcionando a la vez una ejemplificación para el estudio de otros tipos de abonos orgánicos.

1.5.- LIMITACIONES

La realización del presente trabajo de investigación presentó algunas condiciones y restricciones que provocaron que el tiempo de culminación se extendiera más de lo previsto, entre ellas la ubicación de granjas y fincas que proporcionaron los estiércoles y el entrenamiento previo de los investigadores, necesario para el uso de equipos y la aplicación de metodologías en el laboratorio.



CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1.- ANTECEDENTES

1. Delgado, Rodolfo (2006). **¿Es necesario un nuevo enfoque de los estudios de fertilidad del suelo para una agricultura sustentable en Venezuela?** CENIAP-INIA, Maracay.

Este trabajo tuvo como objetivo principal analizar los aspectos necesarios para el desarrollo de un Sistema Integral de Evaluación y Manejo de la Fertilidad del Suelo y de Recomendación de Fertilizantes (SIEMFRF), el cual se basa en el logro de una agricultura sustentable. El desarrollo de una agricultura sustentable requiere de mecanismos integrales para evaluar y manejar la fertilidad del suelo, y para recomendar dosis de fertilizantes orgánicos o minerales que cumplan con requerimientos ambientales, económicos, capacidades de los productores, y calidad de las cosechas. Dichos mecanismos deben ser capaces de evaluar el ciclaje y/o destino de elementos nutritivos, además de otros aspectos de importancia para la sustentabilidad del sistema suelo-agua-cultivo-atmósfera, y capaz de evaluar y pronosticar la sustentabilidad de prácticas de manejo y de sistemas de producción. Para el desarrollo de esta propuesta se requieren investigaciones que permitan la caracterización e integración cuantitativa de los principales procesos involucrados que afectan tanto los contenidos de nutrimentos realmente disponibles, así como a las fuentes orgánicas o minerales de diferente calidad y accesibilidad a los descomponedores del suelo. Se recomienda un control en la dosis y época de aplicación de fertilizantes y fuentes alternativas de nutrimentos para las condiciones



biofísicas específicas de la unidad de producción y capacidades técnico-económicas del productor, el cual permita predecir de cantidad y calidad de cosecha.

2. Espinoza, Y. y Gil, J. (2003). **Utilización de las heces de bovinos para fertilizar pastizales**. CENIAP-INIA. Maracay.

El objetivo de este estudio fue evaluar el uso de las heces de bovino como fertilizante orgánico para ser usadas como una alternativa de fertilización de pastizales. Usualmente la fertilización de pastizales se realiza por medio de fertilizantes químicos, como la urea, sulfato de amonio, roca fosfática, etc. Sin embargo, tomando en consideración que en la explotación intensiva de carne y leche, se produce una gran cantidad de heces por parte del ganado confinado en esas instalaciones, la cual puede convertirse en una fuente excelente de nutrientes esenciales como nitrógeno y fósforo. El trabajo plantea un buen balance de nitrógeno del sistema suelo-planta-animal, donde el animal es quien aporta el fertilizante orgánico nitrogenado.

El análisis se hizo sobre una muestra homogénea de suelo que representa un continuo de suelo de un terreno. Se tomaron muestras de y se enviaron al laboratorio para su análisis químico. Se realizaron diferentes determinaciones entre las cuales se pueden mencionar el porcentaje de humedad y el contenido de nitrato, amonio, N total y materia orgánica. En conclusión el balance neto de nitrógeno en pasturas bajo pastoreo fue calculado considerando la cantidad aplicada como estiércol, la cantidad removida por la planta y la cantidad restante en el suelo.

3. Jurado, Pedro (2003). **Estrategias sobre el uso de excretas animales para la agricultura en México**. FAO.

En esta investigación se resalta la importancia de reciclar las excretas para reducir una potencial contaminación. En el caso de México, la mayor contaminación por excretas viene dada por la porcicultura tecnificada y semitecnificada. Se



realizaron ensayos con diferentes dietas alimenticias para cerdos con la finalidad de minimizar el riesgo de contaminación cuando se aplican estiércoles al suelo. La metodología aplicada para la determinación de los minerales y nutrientes fue la utilización de extractantes químicos para su posterior lectura en un equipo de absorción atómica. Se aplicó la técnica de ensilado, el cual es un método de conservación de forrajes o subproductos alimenticios por compactación para producir un ambiente anaeróbico adecuado para el desarrollo de bacterias produciendo una disminución en el pH por abajo de 4,0 inhibiendo toda actividad fermentativa, conservando el material, con la finalidad de determinar el porcentaje de materia seca, proteína cruda y energía digestible.

En conclusión se planteó la necesidad de un tipo de alimentación que permita obtener una mejor respuesta de los animales a la dieta, siempre y cuando se respetara el perfil ideal de aminoácidos, de fósforo digestible y otros elementos y, además, un incremento en el número de fases de alimentación y la separación de animales tomando en consideración el sexo de los cerdos. La importancia de este trabajo estuvo en conseguir una dieta perfecta para el cerdo que impida la contaminación que se produce al utilizar excretas como fertilizantes logrando así una alternativa que adecuen las excretas a un beneficio para que no se conviertan en un problema.

4. Parra, F., Díaz, I., González, C., Hurtado, E., Garbati, S. y Vecchionacce, H. (2002). **Efecto de la raíz y el follaje de la yuca (*Manihot esculenta, crantz*) en la digestibilidad aparente en cerdos.** Instituto de Producción Animal, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela.

El objetivo de este trabajo fue determinar la digestibilidad total aparente en cerdos de tres tipos de presentación del alimento preparado con raíz y follaje de yuca (*Manihot esculenta, crantz*). Se utilizaron 15 lechones machos castrados mestizos provenientes de cruces entre razas mejoradas con 30 kg de peso vivo (PV), alojados en jaulas metabólicas. Se les suministró una dieta equivalente al 8% del peso metabólico (PV 0,75), fraccionada en dos porciones. El periodo experimental total



duró 10 días, 5 de adaptación y 5 días de muestreo. Las heces fueron recolectadas en horario previo al suministro de la ración, luego fueron pesadas, homogeneizadas y deshidratadas en estufa a 65 °C y enviadas al laboratorio para las determinaciones de materia seca (MS), materia orgánica (MO), proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN) y energía.

Se utilizó follaje constituido por pecíolos, láminas y ramas tiernas, los cuales al igual que la raíz, se deshidrataron en un cuarto cerrado (tipo horno con energía natural) a 60 °C por 48 horas (hasta alcanzar peso constante). Luego fueron pasados por un molino con un tamiz de 0,5 mm. Para la obtención del alimento en pasta se mezcló el material fresco junto con el resto de materias primas y agua; una vez formada la pasta homogénea. Se calcinó por un lapso de 15 minutos, a temperatura constante de 65 °C. Los análisis respectivos de MS, MO y PC, se utilizó la metodología de la AOAC, y adicionalmente se realizaron determinaciones de energía a través del calor de combustión generado en una bomba calorimétrica adiabática, utilizando ácido benzoico como estándar. Se concluyó que el alimento en forma de pasta (con raíz y follaje de yuca), es un recurso con una alta calidad nutricional y una digestibilidad superior a 87% de MS el cual puede ser usado en la alimentación de cerdos.

5. Rodríguez, Claudia (2002). **Residuos ganaderos**. Cursos de Producción Animal y de Introducción a la Producción Animal. FAV. Universidad Nacional de Río Cuarto. Argentina.

Esta investigación trató del uso de los residuos ganaderos y la buena distribución de los mismos para lograr una mejor fertilización orgánica de las tierras de cultivo. Se estudió los desechos fecales de pollos parrilleros, ponedoras y reproductoras; se determinó su aporte al crear un equilibrio con la materia orgánica en el suelo (humus) y además, se determinó y comparó las cargas contaminantes que se encuentran en la materia orgánica. Los aportes de materia orgánica, incrementan los contenidos en nitrógeno, un aporte de 1,5 unidades de ganado mayor (UGM),



incrementa en un 0,01 % el nitrógeno de la capa arable, lo que representa 300 kg de N/ha. La totalidad de este nitrógeno no puede ser extraído por los cultivos puestos que el nitrógeno de los residuos ganaderos se encuentra en tres fracciones: mineralizable, orgánica y residual, lo que puede ocasionar un exceso de este mineral y efectos negativos para los cultivos y el ambiente.

Otros minerales como el fósforo y el potasio, no suelen originar fenómenos de toxicidad en los suelos, más bien al contrario, el abonado con estos minerales es muy útil para todos los cultivos. Solamente pueden presentarse problemas en las praderas y sobre el ganado vacuno que padece en praderas ya que pueden producir un desequilibrio con otros macro y microelementos. Las excretas en general, poseen una abundante flora bacteriana localizada a nivel gastrointestinal. Las cantidades estimadas alcanzan a 1000 coliformes totales/g de excretas de cerdos aproximadamente, pudiendo aumentar por la edad y peso vivo o por la cantidad global producida. En conclusión, una multiplicidad de factores propios de la manipulación de las excretas afecta la disponibilidad de nutrientes para los cultivos y generan un estado sanitario que juega un rol potencial para la contaminación ambiental.



2.2.- BASES TEÓRICAS

2.2.1.- Nutrición vegetal

Se denomina nutrición al aporte y la absorción de compuestos químicos necesarios para el crecimiento y el metabolismo de un organismo. Estos compuestos se denominan nutrientes y son requeridos por las células para realizar sus funciones vitales (Tognetti *et al.*, 2005). Los órganos que cumplen con las funciones de absorción de agua y de nutrientes en las plantas son las raíces, aunque alguna absorción parcial se sucede por las hojas. Las raíces se desarrollan en el suelo y en él crean un ambiente único, en el cual se suceden continua y simultáneamente infinidad de reacciones químicas, físico-químicas y biológicas, cuya calidad e intensidad, determinan la capacidad del suelo para suplir las necesidades nutritivas de las plantas (Amezquita, 2001).

Para que un elemento nutritivo que se encuentre en el suelo pueda ser absorbido por la planta es necesario que éste entre en contacto con la raíz. Según Amezquita (2001), el contacto se realiza mediante tres procesos, los cuales son: intercepción por las raíces, flujo de masa y difusión. Una vez adquiridos por la planta, los nutrientes en su mayoría pueden ser asimilados, entendiéndose por tal, la incorporación de los mismos en compuestos orgánicos necesarios para la vida del vegetal (Tognetti *et al.*, 2005).

2. 2.1.1.- Factores que afectan la disponibilidad de nutrientes para las plantas

La fracción de un elemento en el suelo que es accesible a las raíces de las plantas, hace referencia al término "disponibilidad" de este elemento. Sólo una parte de los nutrientes se encuentra en el suelo en forma fácilmente disponible para las plantas, ésta corresponde a la fracción de los mismos en la solución del suelo (fase acuosa del suelo). La absorción continua de un nutrimento depende principalmente de la tasa de liberación del mismo de la fase sólida hacia la solución del suelo de donde es tomado por la planta (Lora, 2001; Tisdale *et al.*, 1993; Tognetti *et al.*, 2005).

La interacción de numerosas propiedades químicas, físicas y biológicas influyen en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, entre estas Lora (2001) menciona:

- **Solubilidad**

Algunos aniones como los nitratos y los cloruros son muy solubles en agua y normalmente no forman compuestos insolubles con los constituyentes del suelo. Como resultado, cualquier nitrato o cloruro adicionado al suelo generalmente permanece en solución hasta que es tomado por la planta o los microorganismos, o escurrido del suelo. Otros nutrientes como el amonio y el fósforo forman compuestos relativamente insolubles en el suelo.

- **Actividad de los microorganismos**

El área del suelo vecina a las raíces o influenciada por ellas, es de gran importancia para la planta y la disponibilidad de nutrientes. Esta zona recibe en el nombre de rizosfera. La actividad microbiana en la rizosfera depende en gran parte del metabolismo de la planta.

Los microorganismos presentes en la rizosfera que juegan un papel importante en el ciclo del N son los siguientes:

- *Bacterias amonificantes*: Realizan la mineralización de proteínas y aminoácidos produciendo amoníaco, el cual puede ser utilizado por la planta.
- *Bacterias nitrificantes*: Realizan la transformación del amonio a nitritos y nitratos bajo condiciones aeróbicas.
- *Bacterias desnitrificantes*: Realizan el proceso de reducción de nitritos y nitratos a formas gaseosas de nitrógeno tales como óxido nítrico (NO), óxido nitroso (N₂O) y N molecular (N₂), bajo condiciones anaeróbicas.

2.2.1.2.- Nutrientes esenciales

Se consideran nutrientes esenciales aquellos que cumplan con los siguientes tres criterios. El primero es que el nutriente sea imprescindible, es decir que sin su presencia la planta no se desarrolla normalmente o no completa su ciclo de vida. El segundo es que sea específico, lo que significa que no puede ser reemplazado por otro

elemento. Por último, su acción debe ser directa en la nutrición de la planta y no a través de una acción indirecta en el suelo o medio de cultivo (Tognetti *et al.*, 2005).

Las plantas son organismos capaces de sintetizar todas las sustancias necesarias para su crecimiento y desarrollo si se les suministra 13 nutrientes minerales esenciales, carbono y agua. Dichos nutrientes se clasifican como macronutrientes y micronutrientes, en base a su abundancia relativa en las plantas. Los macronutrientes minerales son: N, azufre (S), fósforo (P), magnesio (Mg), calcio (Ca) y potasio (K). Comparado con los macronutrientes, las concentraciones de los siete micronutrientes: hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu), zinc (Zn), molibdeno (Mo), boro (B) y cloro (Cl), son muy pequeñas. La toxicidad en un micronutriente puede inhibir el desarrollo de la planta tanto como la deficiencia (Clavijo, 2001; Tisdale *et al.*, 1993).

- **Nitrógeno**

Es el nutriente requerido en mayor cantidad por la mayoría de los cultivos, sin embargo, es el que se encuentra con mayor frecuencia en cantidades insuficientes. A pesar de que existen niveles elevados en los suelos, equivalentes a varias toneladas de N por hectárea, en un momento determinado las cantidades disponibles pueden ser bajas (León, 2001). El N se encuentra en el suelo principalmente formando compuestos orgánicos, sólo una pequeña fracción muy variable del N total se encuentra en formas inorgánicas disponibles para las plantas, como el nitrato (NO_3^-) y el amonio (NH_4^+), los cuales son producidos por la descomposición aeróbica de la materia orgánica (MO).

Casi todo el NH_4^+ puede ser incorporado a compuestos orgánicos (aminoácidos, amidas y proteínas) en las raíces mientras que el NO_3^- se transporta en la planta y puede almacenarse en las vacuolas de las raíces, tallos, hojas y frutos, sin embargo, para que el NO_3^- puedan formar parte de estructuras orgánicas y cumpla sus funciones esenciales como nutriente debe ser reducido a amonio en el suelo. El amonio es convertido en nitrato a través de la oxidación biológica del primero. El proceso que hace posible esta transformación se denomina nitrificación (Clavijo, 2001; Espinosa, 2001).

Tisdale *et al* (1993) señalaron que idealmente, el NH_4^+ en la fuente preferida de N ya que hay un ahorro de energía cuando este es usado por la planta en lugar del NO_3^- para la síntesis de proteínas, además su aplicación puede aumentar los niveles de carbohidratos y proteínas en comparación con la aplicación de NO_3^- . El NH_4^+ está menos sujeto a pérdidas en el suelo por drenaje y desnitrificación, comparado con el NO_3^- . Sin embargo, el NH_4^+ puede fijarse en las arcillas del suelo o puede pasar a formar parte de la biomasa microbiana, y de esa forma quedar inmovilizado (Calderón *et al*, 2005).

El N es transportado en la planta principalmente en forma de aminoácidos, algunos de los cuales son constituyentes de proteínas y estas a su vez pueden formar parte de la estructura de las células (p. ej., formando parte de membranas celulares), ser constituyentes de las reservas almacenadas temporalmente en los órganos de perpetuación (p. ej., semillas) o poseer un rol enzimático (es decir, son catalizadores biológicos) (Echeverría y Sainz, 2005; Tognetti *et al.*, 2005).

- **Fósforo**

El P es un elemento de muy baja movilidad en el suelo, y es transportado al interior de las células como fosfatos (H_2PO_4^-), que son formas derivadas del ácido fosfórico. Este es parte de enzimas y proteínas y está involucrado en el transporte y absorción de otros nutrientes y en prácticamente todos los procesos de transferencia y almacenamiento de energía. El mismo es un componente estructural de los ácidos nucleicos cuyas unidades en el caso del DNA llevan la información genética y en el RNA la traslada (Clavijo, 2001; García *et al.*, 2005; Tognetti *et al.*, 2005).

- **Potasio**

Se caracteriza por su alta movilidad en las plantas, es decir, entre células y tejidos. El K^+ es el catión más abundante en el citoplasma y sus sales contribuyen al potencial osmótico de células y tejidos y a la estabilización del pH. Se encuentra también en cloroplastos y vacuolas facilitando el alargamiento celular. Es el activador o cofactor de enzimas por excelencia y existen más de 50 enzimas que lo requieren para aumentar la velocidad de reacción. Además, actúa en los diferentes pasos de la síntesis de proteínas y el aumento de su concentración en la hoja es acompañado por

un aumento en las tasas de fotosíntesis, fotorespiración y retención de agua, y una disminución en la respiración y en la incidencia de ciertas enfermedades (Clavijo, 2001; Conti y García, 2005; Tognetti *et al.*, 2005).

- **Magnesio**

Sus funciones en las plantas están relacionadas con su movilidad dentro de las células y su capacidad para interactuar con otros compuestos a través de enlaces iónicos y convertirse en elemento puente en la formación de complejos. Una alta proporción del magnesio absorbido contribuye a la regulación del pH celular y al balance electroquímico. La mayor función del Mg^{2+} y la más conocida, es como átomo central de la molécula de clorofila. Además, favorece la formación de proteínas y vitaminas (Clavijo, 2001; Tognetti *et al.*, 2005; Vázquez, 2005).

- **Calcio**

Este catión divalente entra fácilmente a la planta y se une de manera intercambiable a las paredes celulares y a la superficie exterior de la membrana plasmática. La mayoría de su actividad se relaciona con su capacidad de coordinación para lo cual forma enlaces internos moleculares estables pero reversibles en las paredes celulares y en la membrana. Estos enlaces son parte de los mecanismos de control para la división y elongación celular y para los procesos de crecimiento y desarrollo de órganos y tejidos en la planta. La función principal de Ca^{2+} es la regulación de la permeabilidad de la membrana y el endurecimiento de las paredes celulares, lo cual es importante para la protección de los tejidos al ataque de hongos y la maduración de los frutos (Clavijo, 2001; Tognetti *et al.*, 2005; Vázquez, 2005).

- **Azufre**

El S es un nutriente que existe en el suelo en forma orgánica y mineral. La fuente más importante de azufre en forma mineral es el sulfato (SO_4^-), el cuál es tomado por las raíces a tasas relativamente bajas. El SO_4^- generalmente es reducido en la planta para incorporar el S a aminoácidos, proteínas y coenzimas o puede ser utilizado directamente para conformar sulfolípidos en las membranas celulares los cuales ayudan a regular el transporte de iones (Clavijo, 2001; Echeverría, 2005).

- **Hierro**

El Fe se absorbe como catión bivalente (Fe^{+2}) y/o en forma de quelatos. La principal función metabólica del Fe es como constituyente de complejos que intervienen en la síntesis y transporte de carbohidratos y los sistemas reversibles de óxido reducción. Además, el hierro cumple un papel fundamental en la biosíntesis de clorofila y en el resto de compuestos que intervienen en la fotosíntesis, respiración, metabolismo del N, etc. (Clavijo, 2001; Tognetti *et al.*, 2005).

- **Cinc**

El cinc es absorbido como catión divalente (Zn^{2+}) y transportado en la planta en forma libre o unido a ácidos orgánicos. En las plantas, el Zn^{2+} no es oxidado ni reducido y actúa como enlace en muchos sistemas enzimáticos entre el enzima y el sustrato. Afecta la actividad de enzimas asociadas con el metabolismo de carbohidratos y la síntesis de proteínas y es vital para la formación de clorofila y hormonas del crecimiento (Clavijo, 2001; Tognetti *et al.*, 2005).

- **Manganeso**

El Mn es absorbido como catión bivalente (Mn^{2+}). Participa en las metaloproteínas donde actúa como componente estructural, sitio activo o simplemente con un sistema redox. Además, el Mn^{2+} es constituyente de la enzima que cataliza la fotólisis del agua en la fotosíntesis y hace parte del sistema de protección del aparato fotosintético contra los radicales libres de oxígeno O_2^- (superóxido), el cual se forma en varias reacciones enzimáticas cuando un solo electrón se transmite al O_2 (Clavijo, 2001; Tognetti *et al.*, 2005).

- **Cobre**

El Cu es absorbido como catión divalente (Cu^{2+}) y/o en forma de quelatos y tiene la facilidad de unirse a compuestos orgánicos para formar complejos. La mayoría de sus funciones como nutriente se basan en su participación en el balance hormonal de las plantas, en la síntesis de algunas enzimas y en reacciones redox, ligado a enzimas terminales y reaccionando directamente con oxígeno molecular (Clavijo, 2001; Tognetti *et al.*, 2005).

2.2.2.- Fertilizantes

En general los nutrientes en la solución del suelo son aprovechados por la planta, pero su cantidad en la mayoría de los casos es baja, lo que hace necesario la aplicación de enmiendas y materiales fertilizantes como fuente de dichos nutrientes. Según R. Guerrero (2001), los fertilizantes son cualquier material orgánico o inorgánico, natural o sintético que suministra a las plantas uno o más de los elementos químicos necesarios para su normal crecimiento. Esto indica que para considerar un material como fertilizante por una parte, debe contener uno o más de los nutrientes esenciales para el desarrollo vegetal y, por otra, por su naturaleza y propiedades específicas, debe estar en capacidad de ceder estos elementos a las plantas, es decir, debe contenerlos en estado disponible.

Se denomina abono orgánico al material fertilizante que aporta nutrientes a partir de compuestos orgánicos. Pueden ser de origen natural, como los estiércoles, residuos de cosecha y abonos verdes; o de origen sintético como la urea (R. Guerrero, 2001).

2.2.2.1.- El estiércol como fertilizante

Los estiércoles son las heces recién expulsadas de animales y están constituidos por el sobrante del alimento ya digerido pero no utilizado por dichos organismos. Estos han sido una fuente de nutrientes para los cultivos a lo largo de la historia de la humanidad. Aunque estos residuos tienen proporcionalmente pequeñas cantidades de nutrientes, las dosis que se aplican pueden hacerlos equivalentes a la aplicación de un fertilizante inorgánico. Entre los efectos benéficos del uso del estiércol Bianchini y García (2005) mencionan:

- Fuente de N inorgánico en forma disponible para las plantas.
- Mayor movilidad y disponibilidad de macro y micronutrientes por la formación de complejos con la MO.
- Mayor contenido de MO, por lo tanto, mayor retención de agua, mejor estructura, menor compactación, mayor infiltración y mayor capacidad buffer en el suelo.
- Posibilidad de una efectiva disposición de residuos.



- Además, indirectamente puede ahorrar recursos no renovables necesarios para la producción de fertilizantes inorgánicos.

Entre los estiércoles empleados como fertilizantes son comunes, por su disponibilidad y alto volumen de producción en la ganadería, los siguientes:

Gallinaza: es el material proveniente de la cría de gallinas en jaulas y está constituida principalmente por excretas de aves y cierta cantidad de residuos de alimento y plumas.

Bosta: estiércol proveniente del ganado bovino.

Cerdaza: estiércol proveniente del ganado porcino.

2.2.2.1.1.- Materia orgánica

Todas las sustancias orgánicas en el estiércol vivas o muertas, frescas o descompuestas, simples o complejas, hacen parte de la MO del estiércol. Para Amezcuita (2001) las funciones benéficas de la MO en el suelo pueden resumirse como sigue:

- *Biológicamente:* suple de energía y alimento a la biota del suelo.
- *Químicamente:* proporciona ácidos orgánicos, C, N y otros nutrientes directas e indirectamente.
- *Físicamente:* aumenta la agregación, hace el suelo más laborable, aumenta la porosidad, la aireación, la capacidad de infiltración y percolación y reduce la escorrentía y la erosión.

La MO es “consumidora” y a la vez fuente de elementos nutritivos al ser biodegradada por las enzimas segregadas por los microorganismos, produciendo nutrientes en estado inorgánico que son aprovechables para toda la fauna y flora del suelo y para la nutrición de las plantas. El N inorgánico (NO_3^- y NH_4^+), el P inorgánico (H_2PO_4^- y HPO_4^{2-}) y el S inorgánico (SO_4^{2-}) producidos, son formas aprovechables para las plantas. Además se liberan cantidades abundantes de Ca, K, Na y microelementos en menor cantidad. También se producen antibióticos, vitaminas, ácidos orgánicos y enzimas que en general forman un medio más sano, estable y en equilibrio en el suelo (Burbano, 2001; Muñoz, 2001; Picone, 2005).

La MO tiene propiedades de carga que la constituyen en un sitio de intercambio y posee propiedades físicas y químicas que facilitan la agregación con partículas minerales. Su alta capacidad de intercambio catiónico le permite retener cationes esenciales para la nutrición vegetal que, de lo contrario, quedarían en la solución del suelo y podrían ser lavados. Además, cuando se agrega MO al suelo, esta enriquece el medio con fauna y flora, especialmente con bacterias, lo cual activa la descomposición de la materia orgánica nativa del suelo y de la agregada, lo que permite lograr un efecto provechoso para el establecimiento y nutrición de los cultivos (Burbano, 2001; Muñoz, 2001; Picone, 2005).

2.2.2.1.2.- Mineralización

La conversión del C, N, P y S orgánicos a formas minerales por la acción de microorganismos se denomina mineralización y es un proceso aeróbico que contribuye a la disponibilidad de nutrientes para las plantas; el proceso contrario se llama inmovilización, y ambos ocurren simultáneamente. La energía necesaria para conservar el ciclo en movimiento es la que se libera en la oxidación de los compuestos orgánicos almacenados en la MO. La mineralización es un parámetro de liberación cuantitativo con dimensiones específicas, por ejemplo de (mg de nutrientes) / (g de sustrato.unidad de tiempo), el cual es regulado por la disponibilidad de sustrato para la biomasa microbiana (Burbano, 2001).

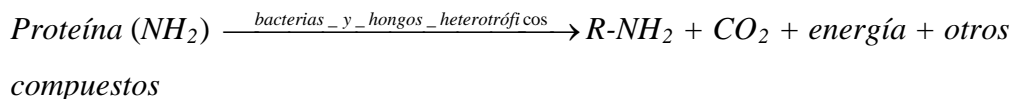
La intensidad del proceso de mineralización es afectada por numerosos factores, siendo los más importantes el tamaño del sustrato orgánico, la temperatura, la humedad y el pH. La temperatura óptima para la mineralización varía entre 25 y 35° C, mientras que la humedad óptima del varía entre el 50 y el 70% (Echeverría y Sainz, 2005).

Mineralización del nitrógeno

La mineralización del N es la conversión del N orgánico en iones NH_4^+ o amoníaco. Esta involucra dos reacciones, aminización y amonificación, las cuales ocurren a través de la actividad de microorganismos heterótrofos. Estos microorganismos requieren de compuestos de carbono orgánico como fuente de

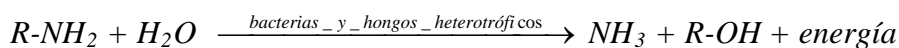
energía. Las siguientes reacciones ejemplifican la descomposición de las proteínas y los diversos organismos que participan en la misma.

- *Aminización*



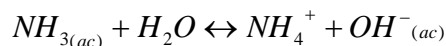
Ec. 2.1 (Muñoz, 2001)

- *Amonificación*



Ec. 2.2 (Muñoz, 2001)

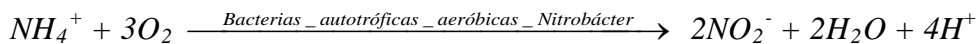
En ambientes acuosos ácidos o neutros, el NH_3 se encuentra en forma de NH_4^+ . Parte de este NH_3 producido por amonificación se libera en forma gaseosa desde los ambientes alcalinos, pasando a ser inaccesible para los sistemas biológicos (Atlas y Bartha, 2006). El NH_4^+ y el NH_3 forman en solución acuosa la siguiente reacción de equilibrio:



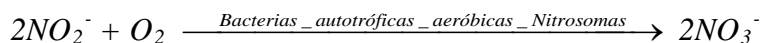
Ec. 2.3 (Masterton y Slowinski, 1979)

Según Atlas y Bartha (2006) y Muñoz (2001), el NH_3 y el NH_4^+ producidos pueden ser convertidos u oxidados por el proceso de nitrificación en iones nitrito (NO_2^-) y estos ser transformados a NO_3^- , ser absorbido directamente por las plantas o ser utilizado por los microorganismos del suelo llegando a crear una deficiencia temporal de N disponible. Los dos pasos de la nitrificación, es decir, la formación de NO_2^- y la formación de NO_3^- están muy relacionados y no se produce una acumulación de NO_2^- .

- *Nitrificación*



Ec. 2.4 (Muñoz, 2001)



Ec. 2.5 (Muñoz, 2001)

El NO_3^- producido puede ser absorbido directamente por las plantas, ser utilizado por la flora y la fauna del suelo, formar sales muy solubles de K, Ca, Mg y Na, entre otras, y perderse fácilmente por percolación ó ser desnitrificado biológicamente en condiciones anaeróbicas y convertido a formas gaseosas (N_2 , NO, N_2O) que se pierden en la atmósfera (Muñoz, 2001).

Se ha logrado demostrar que la fase de amonificación es el paso limitante en el proceso de mineralización del N (Echeverría y Sainz, 2005). Es importante destacar que la estimación de las tasas de mineralización de N de los estiércoles es esencial para calcular las tasas agronómicas de la aplicación de estos en los cultivos (Davis, *et al*, 2003).

2.2.2.2.- Parámetros que definen la calidad de un estiércol

Es importante considerar la calidad de los materiales empleados para compensar la pérdida de MO en los cultivos, ya que esta dependerán sus efectos a corto y largo plazo. Kimani & Lekasi (2004) definen la calidad de un estiércol como la medida del aporte de dicho estiércol para el mejoramiento de las propiedades del suelo y el aumento del rendimiento de las cosechas.

La calidad de un abono está dada por el uso que se le quiera dar ya que lo que puede ser considerado como un abono de muy buena calidad para un cierto cultivo, puede ser considerado inefectivo o poco práctico para otro. Sin embargo en general para que un abono pueda ser considerado de calidad debe mejorar las características del suelo sin contaminar ni al cultivo ni al suelo (Soto y Meléndez, 2004).

Algunos criterios que según Soto y Meléndez (2004) pueden definir la calidad de un abono son la composición química, en cuanto a aquellos elementos que son fuente de nutrientes para los cultivos; la respiración microbiana como indicadora de madurez o estabilidad; la relación C/N que determina los procesos de mineralización e inmovilización; la presencia de microorganismos patógenos, como Salmonella y Escherichia coli; y el contenido de metales pesados. A continuación se describen

algunos de estos parámetros determinantes en la valoración de la calidad de un estiércol, teniendo en cuenta que estos pueden variar dependiendo de su procedencia, manejo y estado físico.

2.2.2.2.1.- Composición química

Los estiércoles pueden ser altamente variables en cuanto a composición. Según Salazar (2001), los factores que afectan directamente su composición, ya sea en su calidad y cantidad, son los siguientes:

- *El alimento:* cantidad de alimento, composición del alimento (sistema de formulación), calidad del alimento (sistema de formulación) y estado del alimento.
- *El animal:* estado de salud animal, hábitos alimenticios, edad del animal, actividad productiva del animal y etapa fisiológica
- *Manejo e instalaciones:* condiciones bajo las cuales se produce el estiércol, duración y condiciones de almacenamiento, tipo de instalaciones (piso sólido; piso de rejilla, etc.).

El uso eficiente de los nutrientes provenientes de distintos tipos del estiércol depende de la concentración de los nutrientes, el método y momento de aplicación y la disponibilidad a corto y largo plazo de dichos nutrientes.

2.2.2.2.2.- Potencial hidrógeno (pH)

La acidez de una solución está determinada por la concentración de iones hidrógeno (H^+) en la misma y se expresa como un parámetro denominado potencial hidrógeno (pH). El pH se define como la inversa del logaritmo de la concentración de iones H. La escala de pH cubre un rango que va de 0 a 14. Un valor de 7 es neutro (igual número de iones H^+ y OH^- en la solución), mientras que valores menores de 7 son ácidos y valores mayores de 7 son básicos. Este parámetro afecta reacciones y procesos, influye en las propiedades físicas, en las reacciones redox, la actividad microbiana, la mineralización e inmovilización y por lo tanto la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Espinosa, 2001).

2.2.2.2.3.- Conductividad eléctrica

La medida de la conductividad eléctrica permite establecer una estimación aproximadamente cuantitativa de la cantidad de sales minerales que contiene una

solución. La presencia de estas aumenta su capacidad de conducir la corriente eléctrica, la cual viene dada por la cantidad de partículas cargadas (iones) y su movilidad. Sus unidades son Siemens por metro [S/m] en el sistema de medición SI.

Los cultivos presentan un grado de resistencia a la salinidad muy variable. El exceso de sales solubles puede llegar a ser tóxico para los cultivos ya puede impedir o dificultar el desarrollo normal de las plantas y puede acarrearlas a realizar un mayor esfuerzo para absorber el H₂O (Fuentes, 1997).

2.2.2.2.4.- Fracciones de C y N

La determinación de las diversas fracciones de C y N de la MO, en particular de las activas o más lábiles, aporta un importante índice de la calidad de un estiércol ya que proporcionan un indicio de la dinámica que tendría la MO una vez aplicado el abono al suelo. Las fracciones del N orgánico total y del C orgánico total (NOT y COT), separadas en base a su actividad biológica, según Rice & García (1994) son, respectivamente: N y C potencialmente mineralizables (N₀ y C₀), N y C de la biomasa microbiana (BMN y BMC), N y C mineralizables no microbianos (NMNM y CMNM) y N y C orgánicos estables (NE y CE).

- **N y C potencialmente mineralizables**

Estos parámetros representan la capacidad suplidora de N y C que pueden tener las EA (Stanford & Smith, 1972). El N y el C presentes en la MO parcialmente descompuesta (MO liviana o lábil) junto con los productos microbianos en solución, constituyen casi la totalidad del N₀ y del C₀. El N₀ y el C₀ y las velocidades de mineralización específicas asociadas (k_N y k_C) han sido convencionalmente usados como indicadores de la capacidad del suelo de liberar N y C de la MO y han sido estimados mediante incubaciones aeróbicas que permiten muestrear dicha MO en diferentes estados de descomposición y que de esta manera proporcionan un mejor entendimiento del proceso que toma lugar durante la mineralización y como esta puede ser sincronizada con las necesidades de los cultivos (Calderón *et al.*, 2005; Espinoza, 2007; Sorensen, 1998). Las fracciones de N₀ y C₀ no afectadas por los cambios en la biomasa microbiana son definidas como NMNM y CMNM (Rice & García, 1994).

- **Biomasa microbiana**

La biomasa microbiana (BM) es la fracción más lábil de la MO, está conformada por los microbios y juega un papel central como mediadora en la mayoría de los procesos que tienen que ver con las transformaciones de la MO, esto se evidencia por los flujos de material desde las otras fracciones de la MO a la biomasa, que también es una fracción con una rápida transformación de C y nutrientes. A través de descomposición llevada a cabo por la BM parte de los nutrientes es asimilada por los microorganismos e incorporada en sus tejidos y los nutrientes de las otras fracciones de la MO se vuelven disponibles para la planta. Los microbios juegan un papel clave en estos procesos por su capacidad para servir como sumidero y como fuente de nutrientes, mediante la respectiva inmovilización y mineralización de la MO (Burbano, 2001; Rice & García, 1994).

La medida de la BMC, puede indicar la cantidad y actividad de la BM existente en el abono, la cual juega un papel principal en la retención y liberación de nutrientes y energía. La evaluación del BMN como índice de disponibilidad de N representa un factor importante para conocer la potencialidad como fertilizante de un abono (por lo tanto de su calidad) debido a que el N forma parte fundamental de la BM y que a través de ella se mineralizan las formas orgánicas del elemento. Un índice de las fracciones lábiles de la MO refleja la disponibilidad inmediata del N y el C, así como la disponibilidad potencial a corto plazo debido a la mineralización (Burbano, 2001).

2.2.2.2.5.- Respiración microbiana

La descomposición o mineralización de la MO produce un constante suplemento dióxido de carbono (CO_2) y consumo de oxígeno molecular (O_2), a causa del proceso de respiración llevado a cabo por los microorganismos aeróbicos. Dicho proceso representa un parámetro útil en la medida de la actividad biológica del estiércol.

Según lo señalado por Burbano (2001), los abonos de baja calidad poseen unidades estructurales de MO lenta o pasiva y los de alta calidad tienen compuestos de C ricos en energía que se pierden primariamente como CO_2 y por eso poco



contribuyen al mantenimiento de la MO. La formación de CO_2 es el último paso de la mineralización del C. La respiración es un indicador de madurez o estabilidad del estiércol. Si el material está estable, la actividad microbiana y las tasas de respiración serán menores y si está todavía a medio descomponer, la actividad microbiana, como es de esperar, será mayor. (Soto y Meléndez, 2004).

2.2.2.2.6.- Relación C/N

La relación C a N (relación C/N) define las cantidades relativas de estos dos elementos en materiales orgánicos frescos (Tisdale *et al*, 1993). Esta es una de las propiedades más importantes que determinan la calidad de un abono orgánico, ya que tanto el C como el N son los dos elementos básicos de la MO, esenciales para la nutrición de cualquier organismo.

La inmovilización del NH_4^+ o del NO_3^- ocurre cuando se agregan al suelo residuos de alta relación C/N, de manera que los requerimientos de N de los organismos heterótrofos no pueden ser abastecidos por el N presente en dicho residuo. Los microorganismos son fuertes competidores de las plantas por el NH_4^+ y el NO_3^- del suelo durante la descomposición de los residuos, y por lo tanto si la magnitud de dicha relación es muy alta, las plantas podrían mostrar síntomas de deficiencia de N. Si, por el contrario, el material orgánico adicionado al suelo contiene altas cantidades de N en relación a C (baja relación C/N) la inmovilización de N no ocurrirá, porque el residuo contiene suficiente N para satisfacer la demanda microbiológica durante la descomposición. El N inorgánico en solución en realidad se incrementará por la mineralización de cierta cantidad de N orgánico en el residuo (Echeverría y Sainz, 2005; Tisdale *et al*, 1993).

Generalmente, si la relación C/N es menor que 20:1 se produce liberación temprana de N mineral utilizable por las plantas en el proceso de descomposición del residuo, mientras que relaciones superiores a 30:1 produce inmovilización de N desde la fracción mineral del suelo, ya que los microorganismos utilizarán el NH_4^+ y el NO_3^- presentes durante la descomposición inicial del residuo lo cual cobra especial importancia si se produce en la época de crecimiento de las plantas, que pueden sufrir

graves carencias. Para relaciones entre 20 y 30, puede que no ocurra ni inmovilización ni liberación de N mineral (Echeverría y Sainz, 2005; Rivero, 1999).

2.2.2.2.7.- Abundancia microbiana

La competencia por los nutrientes de la MO con un gran número de poblaciones microbianas de los estiércoles puede llegar a crear déficit de los minerales requeridos por las planta. Además, las superficies aéreas de las plantas pueden constituirse en el hábitat de microorganismos oportunistas como muchos tipos de virus, bacterias y hongos que les causan enfermedades, las cuales pueden originar pérdidas económicas. Sin embargo, en condiciones adversas, ciertas asociaciones con hongos y bacterias pueden resultar esenciales para la supervivencia de las plantas, la agricultura y para los ecosistemas naturales. Dichas interacciones se basan principalmente en la modificación del ambiente del suelo por procesos como: captación de agua por la planta, liberación de compuestos orgánicos al suelo por las raíces, producción microbiana de factores de crecimiento vegetales, y captura de nutrientes minerales (Atlas y Bartha, 2006).

El conteo de bacterias y hongos totales de un sistema se refiere a las bacterias y hongos heterótrofos presentes, es decir, aquellos que obtienen su fuente de carbono a partir de compuestos orgánicos. En este grupo de bacterias y hongos se puede encontrar la gran mayoría de la población microbiana del ambiente oxígeno (Atlas y Bartha, 2006; Prescott y Harley, 2002). La actividad y abundancia microbiana depende, entre otros, de los siguientes factores:

- **Nutrientes**

Todos los microorganismos requieren una fuente de C para crecer, porque el C es la base estructural de los compuestos bioquímicos. El oxígeno desempeña un papel complejo en el metabolismo microbiano ya sea en la respiración, como nutriente, o como agente oxidante o tóxico. Los microorganismos que son capaces de una respiración aeróbica utilizan el O₂ para generar energía. Los anaerobios facultativos pueden crecer tanto en presencia como en ausencia de oxígeno. Los anaerobios estrictos mueren en presencia de oxígeno. Además, requieren alguna forma de N por ser constituyente de las proteínas y de los ácidos nucleicos, así como de determinados

metabolitos esenciales; de P, constituyente de los ácidos nucleicos y de los fosfolípidos; y de S, un componente de los aminoácidos y de algunos tipos de RNA (Prescott y Harley, 2002). De igual forma, son esenciales otros elementos tales como el K, el Fe y el Zn, que los microorganismos necesitan para crecer

- **Condiciones del medio**

Cada especie microbiana crece en un intervalo de temperatura, desde la temperatura mínima de crecimiento a una temperatura máxima de crecimiento. La temperatura óptima de una especie es aquella a la cual crece más rápidamente. Los termófilos crecen mejor a temperaturas superiores a los 50 °C. Los mesófilos crecen mejor a temperaturas cercanas a los 37 °C, la temperatura del cuerpo humano. Los psicrófilos crecen a 5 °C o por debajo de ésta temperatura, la temperatura de un frigorífico. En general, las bacterias crecen mejor a un pH ligeramente alcalino, y los hongos crecen mejor a un pH ligeramente ácido (Atlas y Bartha, 2006; Prescott y Harley, 2002).

- **Abundancia de microorganismos patógenos**

El uso del estiércol puede ocasionar la contaminación del suelo y los cultivos con microorganismos patógenos, como los coliformes fecales, o producir una distorsión descontrolada en la composición microbiana del suelo al incorporarle grupos de baja o nula eficacia en los procesos de humificación de la MO (Basaure, 2006). Además, los estiércoles son portadores de poblaciones microbianas (bacterias, virus y hongos) que inciden negativamente en la salud humana y animal, constituyéndolos en posibles agentes de riesgo sanitario y de salud pública.

Coliforme significa con forma de coli, refiriéndose a la bacteria principal del grupo, la *Escherichia coli*, bautizada como *bacterium coli* ("bacteria del intestino", del griego kolon, "intestino"). El grupo coliforme está formado por los siguientes géneros: *Escherichia*, *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter*. No todos los coliformes son de origen fecal, por lo que se hizo necesario distinguirlos, por lo tanto, los coliformes totales (que comprende la totalidad del grupo) y los coliformes fecales (aquellos de origen intestinal). Se definen como coliformes fecales a aquellos que fermentan la lactosa a 44 °C, en vez de a 37 °C como lo hacen los totales. Si se aplica

este criterio, crecerán en un medio de cultivo apropiado principalmente *Escherichia coli* (90%) y algunas bacterias de los géneros *Klebsiella* y *Citrobacter* (Prescott y Harley, 2002).

2.2.2.3.- Inconvenientes del uso de estiércol

El uso indiscriminado del estiércol sin someterlo a un tratamiento previo puede acarrear, además de contaminación por microorganismos patógenos, otros impactos negativos para el ambiente al alterar desproporcionadamente los niveles de nutrientes del suelo. La aplicación repetida a lo largo del tiempo, en dosis elevadas es capaz de incrementar la salinidad del suelo y generar un exceso de NO_3^- , P, K y metales pesados sobre las necesidades de las plantas, disminuyendo la productividad de los cultivos, y una acumulación en profundidad y en las aguas subterráneas, por filtración a través del suelo, de estas y otras sustancias en cantidades contaminantes. Metales pesados como el Cu y el Zn pueden ser tóxicos para los vegetales y los animales ya que inhiben distintos procesos metabólicos (Abad, 1998; Rodríguez, 2002; *Torri et al.*, 2005).

Por otra parte, los estiércoles sin tratar pueden provocar la proliferación de moscas y la contaminación atmosférica debido a los malos olores que despiden, los cuales tienen su origen en los componentes volátiles que se generan en los procesos de transformación de sus componentes orgánicos. Algunos de estos gases poseen cierto grado de nocividad, como los señalados por Rodríguez (2002): NH_3 y H_2S (irritantes), y CH_4 y CO_2 (asfixiantes).

2.2.2.4.- Tratamientos aplicados a los estiércoles

Para reducir los mencionados riesgos de contaminación y optimizar los resultados, es conveniente que antes de su uso, los estiércoles sean sometidos a métodos de procesamiento previo para la eliminación de microorganismos patógenos, reducir los olores y a la vez mejorar su almacenamiento, manejo y mantenimiento. Entre los procesos que pueden ser aplicados con poca inversión de tiempo, energía y capital se encuentran los de tipo físico como lo son el secado, el amontonamiento (almacenamiento en montón), ensilaje, tamizado, peletización; y por otra parte los



biológicos, señalados por Botero y Hernández, (2006), que por fermentación aeróbica (compostaje) o al ser utilizados como alimento de lombrices, que los transforman en lombricompost.

Por otra parte, Salazar (2001) indica que mediante la manipulación de la alimentación animal se puede alterar la cantidad y calidad del contenido de nutrientes en las dietas, y de esta manera, la composición química de las excretas y en consecuencia la carga contaminante de estas.

2.2.3.- Nutrición y alimentación animal

2.2.3.1.- Alimentos

Los alimentos son la materia prima fundamental para la producción animal. Se puede definir a un alimento como cualquier componente de una ración que tiene alguna función útil, la mayoría de los alimentos son la fuente de uno o más nutrientes, incluyen otros factores que se relacione con la aceptabilidad. Church y Pond (1996) proponen la siguiente clasificación general de los alimentos para animales:

- Forraje de fibra: pasto de corte, plantas verdes, residuos de cultivos alimenticios.
- Forraje seco y forraje de fibras: heno, paja, lotes de maíz, cáscaras y vainas, vagazo de la caña de azúcar.
- Ensilados: maíz, sorgo, leguminosas.
- Concentrados (fuentes de energía): granos de cereal, malazas, frutas y vegetales, grasas animales y vegetales, subproductos de cervecería, desechos comestibles, raíces y tubérculos.
- Concentrados proteínicos: harinas de semilla, carne, hueso y marinas, semilla enteras de plantas, N no proteico (urea, etc.).
- Complementos minerales y vitamínicos y aditivos no nutritivos: antibióticos, antioxidantes, amortiguadores, colorantes, saborizantes, agentes emulsificantes, enzimas, hormonas, medicinas.

Los animales consumen alimentos que su aparato digestivo puede manejar desde el punto de vista del volumen, de contenido nutrimental y de componentes indigeribles. Por lo menos algunas especies animales requieren un mínimo de 18



elementos minerales, estos se dividen en dos grupos, según las cantidades relativas que se necesitan en la dieta, en macroelementos y microelementos.

Los macroelementos son: Ca, P, sodio (Na), Cl, K, Mg y S. Algunos elementos tales como el Ca y el P, se necesitan como componentes estructurales del esqueleto y otros, tales como K, Na y Cl, intervienen en el balance ácido básico. Los microelementos son: cobalto (Co), yodo (I), Fe, Cu, Zn, Mn, selenio (Se), cromo (Cr), flúor (F), Mo y silicio (Si); los cuales actúan como activadores de los sistemas enzimáticos y son componentes de los compuestos orgánicos, por lo tanto, se necesitan en pequeñas cantidades (Church y Pond, 1996).

Aunque los minerales conforman únicamente una porción relativamente pequeña de las dietas de los animales, son indispensables para ellos y, en las mayorías de las situaciones se necesita algún complemento dietarios para llenar los requerimientos. Las necesidades varían según las especies, producción, edad, dieta y el contenido de minerales de los suelo y de los cultivos en las áreas donde crece. Generalmente, aquellos minerales importantes abarcan la sal común (NaCl), Ca, P, Mg y S de los macroelementos y de los microelementos, Cu, Fe, I, Mn y Zn (Church y Pond, 1996).

Existen varios factores que pueden alterar el grado de digestión de un alimento, dentro de los cuales se encuentran el nivel de consumo del dicho alimento, los trastornos digestivos, la frecuencia de la alimentación, las deficiencias de nutrientes, el procesamiento del alimento y otros efectos que se relacionan con los nutrientes (efectos no aditivos de la combinación de diferentes alimentos). También existen diferencias notorias en la capacidad de diferentes especies animales para digerir un alimento específico (Church y Pond, 1996).

2.2.3.2.- Aparato digestivo

Es importante conocer el aparato digestivo del animal debido a la estrecha relación entre éste y la utilización de alimento y nutrientes. Los diversos órganos, glándulas y demás estructuras que lo conforman, tienen por función el procurarse el alimento así como la masticación y deglución del mismo, la digestión y la absorción de los nutrientes, lo mismo que algunas funciones excretorias. Church y Pond (1996)



definen digestión como la preparación de los alimentos para la absorción y consiste en reducir los alimentos a un nivel molecular o a un estado de solubilidad. La absorción incluye varios procesos que permiten el paso de pequeñas moléculas a través de las membranas del tubo gastrointestinal a los sistemas sanguíneo o linfático.

El aparato digestivo de las especies mamíferas que tienen un estómago simple, está formado por la boca con sus estructuras y glándulas afines, el esófago, estómago, intestino delgado y grueso, páncreas e hígado, y se denomina comúnmente monogástrico. En las especies aviares, el aparato digestivo es algo diferente en su anatomía con respecto a los animales monogástricos comunes, pero su función global es muy similar. Las especies rumiantes y pseudorumiantes tienen un estómago más complejo que el de las especies monogástricas que tiene la capacidad de digerir las fibras y otros glúcidos en una forma mucho más completa que los otros grupos (Church y Pond, 1996).

- **Rumiantes**

Cuando los animales rumiantes pastorean o ingieren forraje la masticación inicial es limitada completándose más tarde durante el período de la rumia. La rumia es el proceso por el cual los contenidos del rumen son completamente mezclados y las partículas más grandes y menos digeridas son redirigidas hacia arriba, regurgitadas, masticadas y tragadas nuevamente. Este proceso se repite una y otra vez hasta que las partículas alcanzan un tamaño lo suficientemente pequeño y un área de superficie relativamente grande que permite a las bacterias y protozoarios del rumen digerirlas más eficientemente. Dichas bacterias segregan enzimas que digieren la celulosa que se encuentra en las hojas y tallos de las plantas. Llegado el momento las partículas de alimento abandonan el retículo-rumen y entran al omaso en su ruta hacia el estómago verdadero, el abomaso (CEA, 2001b; Church y Pond, 1996).

En el aparato digestivo de los animales rumiantes, el alimento ingerido se encuentra expuesto a una fermentación anaeróbica pregástrica muy extensa hecho que no se presenta en las otras clases de animales. La mayor parte del alimento ingerido sufre una fermentación microbiana antes del quedar expuesto a las enzimas digestivas gástricas típicas y a las sustancias químicas. El retículo y el rumen en conjunto



suministran un medio muy favorable para la supervivencia y la actividad microbiana, ya que éste es un lugar que se encuentra húmedo, caliente, a donde llega en forma regular nueva ingesta y de dónde sale en una forma más o menos continua la ingesta fermentada y los productos finales de la digestión. Un amplio número de diferentes bacterias se pueden encontrar en el rumen, que puede alcanzar sumas tan astronómicas como de 25 a 50 mil millones por mL. Además de las bacterias, se han identificado aproximadamente 35 especies de protozoarios en los rúmenes de animales en diversas circunstancias y los valores promedio que generalmente se encuentran varían entre 20 y 500 mil por mL (Atlas y Bartha, 2006; Church y Pond, 1996).

2.2.3.3.- Excreción fecal

La materia fecal excretada por los animales esta compuesta por residuos no digeridos de materiales alimenticios; residuos de los jugos gástricos bilis, jugos pancreáticos; detritos celulares de la mucosa intestinal; productos excretorios eliminado a la luz intestinal; y los detritos celulares y metabólicos de los microorganismos que crecen en el intestino grueso, o en el caso de los rumiantes, los que provienen en el estomago anterior (Church y Pond, 1996).

Excreción de elementos minerales

- **Ca**: La vía principal de excreción del Ca son las heces. La excreción fecal incluye tanto una fracción que no se absorbe como una fracción endógena, que tiene su origen principalmente en las secreciones de la mucosa intestinal. En los animales adultos que no se encuentran el periodo de gestación o lactación, la facilidad aparente de la absorción del Ca (el Ca del alimento menos el Ca fecal) generalmente se aproxima al 50%, aunque el porcentaje tiende a disminuir a medida que la ingestión aumenta.

- **P**: Existe una secreción de P hacia la luz intestinal (P fecal endógeno), pero esta pérdida no representa una proporción tan alta, como la pérdida diaria de Ca, la mayor parte de la excreción de P se lleva a cabo a través de los riñones y la orina.

- **Mg**: La excreción del Mg se lleva a cabo a través de vía urinaria y fecal. Se absorbe aproximadamente del 55 al 60% del Mg que se ingiere. Aproximadamente el 95% de la pérdida del Mg que se absorbe se efectúa de la excreción urinaria y el resto a través de la excreción fecal. Si la ingesta de Ca y P es alta disminuye la absorción de Mg.



- **K, Na y Cl:** La ingestión de una mayor cantidad de la que se necesita de cada mineral da como resultado una excreción rápida por los riñones.
- **S:** El S inorgánico se excreta a través de las heces y la orina. El S que no se absorbe se reduce en la proporción inferior del aparato digestivo y se excreta como sulfato.
- **Fe:** El Fe corporal se retiene en forma muy firme. El Fe fecal está constituido principalmente por el Fe dietario que no se absorbe. Aun cuando se inyecte Fe, una porción muy pequeña de este se excreta, ya sea como Fe urinario o fecal, aunque la pérdida urinaria del Fe se presenta cuando se suministra el Fe parenteralmente en exceso a la capacidad del plasma para ligar Fe o cuando se suministra agentes quelantes.
- **Cu:** El Cu se absorbe principalmente como sulfato cúprico, y en menor cantidad como sulfuro cúprico, nitrato cúprico, cloruro cúprico y carbonato cúprico. La bilis es la principal vía de excreción del Cu. A través de la célula intestinal y de las secreciones pancreáticas, se pierden cantidades menores en la orina.
- **Mn:** La cantidad que se absorbe es proporcional a la que se consume, y generalmente es del 10%. La principal vía de excreción del Mn es a través de la bilis, con pequeñas cantidades que se pierden a través de la secreción pancreáticas y de las células mucosas intestinales descamadas.

2.3.- MARCO CONCEPTUAL

- **Bacterias:** son microorganismos unicelulares que por lo general tienen algunos micrómetros de largo (entre 0,5 y 5 μm), se presentan en diversas formas incluyendo esferas, barras, y espirales y son los organismos más abundantes del planeta, encontrándose en todo hábitat de la tierra, creciendo en el suelo, manantiales calientes ácidos, desechos radioactivos en el mar y en las profundidades de la corteza terrestre (Prescott y Harley, 2002). Son organismos con células procariotas, es decir, células sin núcleo (Villemet *et al*, 1996).



- **Carbohidratos (glúcidos):** son compuestos químicos orgánicos formados por C, H y O, esta dos ultimas están en la misma proporción que en el agua (1C: 2H: 1O), como los azúcares, almidones y la celulosa. Constituye corrientemente las $\frac{3}{4}$ partes de materia seca de los vegetales y procede de la fotosíntesis clorofílica. Son utilizadas por el organismo animal para fines energéticos y formación de reservas nutritivas (Church y Pond, 1996; Vilee *et al*, 1996).
- **Citoplasma:** término que designa el contenido de las células que, en una célula eucariota, se encuentra entre el núcleo celular y la membrana plasmática. Consiste en una emulsión coloidal muy fina de aspecto granuloso y en una diversidad de orgánulos celulares que desempeñan diferentes funciones (Vilee *et al*, 1996).
- **Cloroplasto:** orgánulo celular de algunas células vegetales provisto de clorofila, que es el sitio de la fotosíntesis. Está limitado por una envoltura formada por dos membranas concéntricas y contiene vesículas, los tilacoides, donde se encuentran organizados los pigmentos y demás moléculas que convierten la energía luminosa en energía química. (Azcón y Talón, 2000; Vilee *et al*, 1996).
- **Compostaje:** es un método biológico que transforma los restos orgánicos de distintos materiales (paja, lodos cloacales, residuos domiciliarios, cortezas y estiércol, entre otros) en un producto relativamente estable (humus) mediante una descomposición aeróbica, cuyos usos se ha incrementado en los últimos años como una alternativa efectiva para mejorar la productividad y la calidad de los suelos (Botero y Hernández, 2006; Soto y Meléndez, 2004).
- **Enzima:** proteína catalizadora que acelera una reacción química específica al disminuir la energía de activación necesaria para dicha reacción (Vilee, 1996).
- **Fotosíntesis:** producción de compuestos orgánicos, en especial la glucosa, a partir de CO₂ y H₂O con uso de la energía luminosa. La realizan las plantas, algas y



diversos tipos de bacterias para sintetizar la materia orgánica que utilizarán para su crecimiento y desarrollo (Azcón y Talón, 2000; Vilee *et al*, 1996).

- **Heterótrofo:** organismos que deben alimentarse con sustancias orgánicas sintetizadas por otros organismos (Azcón y Talón, 2000; Vilee *et al*, 1996).

- **Lignina:** polímero orgánico más abundante en el reino vegetal, después de los polisacáridos, que resulta de la unión de varios ácidos y alcoholes fenilpropílicos. Posee un importante papel en el transporte interno de agua, nutrientes y metabolitos en la planta; proporciona rigidez a la pared celular y actúa como puente de unión entre las células, creando un material resistente al ataque de los microorganismos, impidiendo la penetración de las enzimas destructivas en la pared celular (Atlas y Bartha, 2006).

- **Membrana plasmática:** membrana superficial semipermeable que envuelve el contenido de las células definiendo sus límites y que actúa como barrera de contención para los nutrientes, proteínas y demás componentes esenciales del citoplasma celular. Está formada principalmente por lípidos y proteínas (Prescott y Harley, 2002; Vilee *et al*, 1996).

- **Omnívoro:** especie que se alimenta tanto de plantas como de alimentos de origen animal, (p. ej. hombre y cerdo) (Church y Pond, 1996).

- **Proteínas:** compuestos orgánicos complejos de alto peso molecular que contienen C, O, H, N y muchas veces S y P. Están formados por muchas subunidades de aminoácidos enlazadas químicamente. Son los principales componentes estructurales de las células y son esenciales para la formación y restauración de todos los tejidos y líquidos del cuerpo animal, además, desempeñan además funciones estructurales y energéticas (Church y Pond, 1996; Vilee *et al*, 1996).



- **Recuento de viables:** es un método de conteo microbiológico en el cual se consideran tan sólo las células vivas, es decir, aquellas que son capaces de reproducirse. El recuento en placa y el número más probable (NMP) son recuentos de viables. Es una estrategia eficiente de estimación de densidades poblacionales especialmente cuando una evaluación cuantitativa de células individuales no es factible. La técnica se basa en la determinación de presencia o ausencia (positiva o negativa) en réplicas de diluciones consecutivas de atributos particulares de microorganismos presentes en diversos ambientes. Por lo tanto, un requisito importante de este método es la necesidad de poder reconocer un atributo particular de la población(es) en el medio de crecimiento a utilizarse. El estimado de densidad poblacional se basa en el patrón de ocurrencia de ese atributo en diluciones seriadas (Atlas y Bartha, 2006; Prescott y Harley, 2002).

- **Ribosomas:** organillos intracelulares que son parte de la síntesis de proteínas y consisten en subunidades de proteínas y RNA (rRNA) ribosomales (Villem *et al*, 1996).

- **Vacuola:** estructura intracelular en forma de saco, envuelto por membrana y lleno del líquido del citoplasma, que puede participar en el almacenamiento, digestión o en la eliminación de agua (Villem *et al*, 1996).

- **Vitaminas:** son sustancias orgánicas requeridas por el organismo animal para el mantenimiento de la salud, el crecimiento y la reproducción normal (CEAa, 2001).

CAPÍTULO 3

MARCO METODOLÓGICO

3.1.- TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación desarrollada fue a nivel de profundidad de tipo analítica, según los objetivos planteados, debido a que implicó la medición y comparación de variables, el análisis e interpretación de los datos y el establecimiento de relaciones entre dichas variables para llegar a un conocimiento más profundo de la calidad de los estiércoles como fertilizantes. Respecto a la estrategia o diseño, fue una investigación de campo, ya que se basó en la recolección de datos de la realidad donde ocurren los hechos.

3.2.- ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1.- Selección de dos estiércoles vacuno, porcino y gallinaza en base a la dieta de los animales

Se efectuaron visitas a diferentes granjas de vacunos, porcinos y de gallinas ubicadas en distintas localidades de los estados Aragua, Carabobo y Yaracuy. Se constató el tipo de sistema de producción al cual se encontraba sujeto el animal, su edad, dieta y la disponibilidad de los estiércoles en el criadero. Además, se entrevistó al personal encargado de la alimentación de los animales para conocer a fondo el tipo de alimentación proporcionada. En base a esto se seleccionaron los estiércoles vacuno (bosta), porcino (cerdaza) y de gallina (gallinaza), provenientes de animales de la misma especie y edad bajo dos distintos tipos de dieta.

Los tratamientos (niveles de factor) estuvieron definidos por tres tipos de estiércol: bosta (B), gallinaza (G) y cerdaza (C), en combinación con dos diferentes

regímenes alimenticios suministrados (A1 y A2). La combinación de ambos factores arroja un total de seis tratamientos, los cuales son B-A1 (bosta proveniente de animales bajo alimentación 1), B-A2, (bosta proveniente de animales bajo alimentación 2), G-A1 (gallinaza proveniente de animales bajo alimentación 1), G-A2 (gallinaza proveniente de animales bajo alimentación 2), C-A1 (cerdaza proveniente de animales bajo alimentación 1) y C-A2 (cerdaza proveniente de animales bajo alimentación 2).

3.2.1.1.- Procesamiento de las muestras

Para cada tipo de estiércol, se tomaron cuatro muestras ($n = 4$) de aproximadamente 2 kg. Estas fueron colocadas en bolsas estériles de polietileno y transportadas al laboratorio en una cava. Al llegar al laboratorio se tamizaron a través de una malla de 4 mm para extraer cualquier cuerpo extraño y homogenizar. Una porción de cada muestra recolectada se conservó en refrigeración a 4 °C y se utilizó en los análisis biológicos (abundancia de hongos, bacterias y coliformes e incubaciones aeróbicas). Otra porción se secó en la estufa, se trituró, se tamizó a través de una malla de 2 mm y se utilizó en el resto de los análisis. Dichos análisis se realizaron en la Unidad de Laboratorios (UNILAB) de suelo, plantas, fertilizantes, agua y enmiendas del CENIAP-INIA y se realizaron bajo los procedimientos analíticos del Manual de procedimientos del Sistema de Gestión de la Calidad de los Laboratorios (SGCL), (2007) del INIA, el cual se fundamenta en la Norma COVENIN 2534:2000 (ISO/IEC 17025:2005).

El contenido de agua o humedad se determinó tomando una masa conocida de estiércol y secándola en estufa a 80 °C durante 24 horas, después de lo cual se volvió a pesar en una balanza con una apreciación de 0,001 g. La diferencia de masas permitió cuantificar la humedad mediante la siguiente fórmula:

$$H = \frac{mh - ms}{mh} \quad \text{Ec. 3.1 (Propia)}$$

Donde:

H : humedad ($\text{g H}_2\text{O} \cdot \text{g}^{-1}$ materia fresca o húmeda).



ms: masa de la muestra luego del secado (g).

mh: masa de la muestra fresca (g).

3.2.2.- Determinación de las propiedades químicas de los estiércoles

3.2.2.1.- Composición química

La composición química en cuanto a contenido o concentración total de macro y micronutrientes fue determinada según los métodos y procedimientos analíticos sugeridos por Gilabert *et al.* (1990).

3.2.2.1.1.- K, Ca, Mg y micronutrientes (Fe, Zn, Cu y Mn)

Se realizó la extracción de estos elementos mediante la digestión húmeda a 350 °C de 0,5 g de muestra seca en presencia de H₂SO₄ y peróxido de hidrógeno (H₂O₂), en un bloque digestor VELP Scientifica, modelo DK Heating Digester, y posterior filtrado con papel de filtro (Whatman N° 5). Para determinar las concentraciones totales se empleó un espectrofotómetro de absorción atómica (PERKIN-ELMER, modelo 3100) que requirió de varias lámparas de cátodo hueco, una para cada especie a ser estudiada, y una mezcla de aire-acetileno como combustible. Fue necesario fijar la longitud de onda y la anchura de banda (slit) para cada especie, cuyos valores teóricos se encontraban reportados en el manual de operación del equipo. Por ejemplo, para el caso del Zn, la longitud de onda utilizada fue de 213,9 nm y la anchura de banda fue de 0,7 y para el caso del Cu los valores de longitud de onda y slit fueron de 324,8 nm y 0,7 respectivamente.

El equipo fue calibrado antes de la lectura de cada elemento mediante patrones de concentración conocida. Para el K, los patrones utilizados contenían 5 ppm, 10 ppm y 20 ppm del elemento, para el Mg se utilizaron patrones de 0,1 ppm, 0,3 ppm y 0,5 ppm y para el Ca patrones de 1 ppm, 2 ppm y 4 ppm. Los valores considerados de las medidas tomadas, fueron aquellos en los que la concentración de la especie analizada en la muestra problema, estuvo entre los valores de los patrones utilizados para la calibración del mismo. En los casos en que la concentración superaba el valor mayor de esta curva de calibración, fue necesario realizar diluciones del extracto.

3.2.2.1.2.- P y S

El P total se extrajo por digestión húmeda a 350 °C en presencia de H₂SO₄ y H₂O₂ y posterior filtrado con papel de filtro (Whatman N° 5). El S disponible se extrajo con solución de fosfato monocálcico 0,008 M, agitación por 10 minutos y filtrado con papel de filtro (Whatman N° 5). La determinación de las concentraciones de estos elementos se efectuó por colorimetría. Se empleó un espectrofotómetro de UV-visible marca SPECTRONIC, modelo 21 D. Se midió la absorbancia (A) de disoluciones que se encontraban en cubetas transparentes a una longitud de onda de 430 nm para el P y de 420 nm para el S. La curva de calibración del equipo se realizó para cada elemento mediante una serie de soluciones patrones.

Se determinó el contenido de S disponible o mineral en lugar del contenido total debido a la escasa eficiencia de utilización del S del estiércol por las plantas, la cual es de entre el 5 y 7 % (Echeverría, 2005).

3.2.2.1.3.- N total

El N total (Nt) fue determinado utilizando la técnica de Kjeldahl, por digestión de las muestras con ácido sulfúrico concentrado y catalizador de selenio y K₂SO₄ (tableta Kjeltabs) a 350 °C durante 90 minutos. Se filtró y se destiló con una unidad de destilación semiautomática TECATOR, modelo Kjeltec System 12002. El destilado se recogió en una solución estandarizada de ácido clorhídrico (HCl) 0,1 N y se retrovaloró con una solución estandarizada de hidróxido de sodio (NaOH) 0,1 N en presencia de un indicador mixto rojo de metilo - azul de metileno.

3.2.2.2.- pH

El pH se determinó utilizando un pHmetro marca OAKTON, modelo pH 1000 SERIES, al poner en contacto una solución de estiércol seco y agua destilada (en relación 1:2,5) con el electrodo de vidrio del equipo.

3.2.2.3.- Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica se midió al extracto proveniente de la filtración de una solución (relación 1:5) de estiércol seco en agua destilada, mediante la utilización de un conductímetro (OAKTON, modelo CON 510 SERIES).

3.2.3.- Fraccionamiento de la materia orgánica de los estiércoles

3.2.3.1.- C potencialmente mineralizable y tasa de mineralización

Se realizó la incubación aeróbica (Calderón *et al.*, 2005; Sorensen, 1998) de cada muestra por 35 días, en las cuales se cuantificó el C mineralizado a partir del dióxido de carbono liberado (C-CO₂). Se colocaron 50 g de muestra fresca de los estiércoles en frascos de vidrio herméticos de 500 mL y se incubaron a 35 °C. El CO₂ liberado se midió cada tres días al inicio de la incubación y posteriormente cada siete días por medio de cromatografía de gases con un cromatógrafo Agilent, modelo 6890, y se expresó en mg de C . kg⁻¹ de materia seca. Luego de cada lectura de CO₂ se abrieron los frascos por aproximadamente 10 minutos para mantener las condiciones aeróbicas. La tasa de mineralización de C (flujo de CO₂) se calculó dividiendo el C mineralizado entre el número de días transcurridos entre las lecturas, esta se graficó en función del tiempo de incubación.

El C potencialmente mineralizable (C₀) y su velocidad de mineralización específica (k_C) se calculó a partir del ajuste de la curva del acumulado de mineralización de C (C_{min}) en función del tiempo, a un modelo de cinética de primer orden (Stanford & Smith, 1972), de acuerdo a la ecuación:

$$C_{min} = C_0 * (1 - e^{-k_C * t})$$

Ec. 3.2 (Stanford & Smith, 1972)

Donde:

C_{min}: C mineralizado acumulado en el tiempo (mg . kg⁻¹).

C₀: fracción potencialmente mineralizable, (mg . kg⁻¹).

k_C: velocidad o tasa de mineralización específica (día⁻¹).

t: tiempo de incubación (día).

La estimación de los parámetros del modelo señalado (C₀ y k_C) se realizó para cada muestra a través del ajuste de la curva del C mineralizado acumulado (C_{min}) en función del tiempo, utilizando el algoritmo Marquardt para modelos no lineales (PROC NLIN) del programa computacional SAS (SAS Institute, Inc., 1996).

3.2.3.2.- Evolución del N mineral

La evolución del N en el tiempo de incubación se cuantificó a partir de lecturas del N amoniacal y nítrico (N-NH₄ y N-NO₃). Estos se determinaron al inicio (tiempo cero de incubación) y luego cada siete días. Para esta determinación se tomaron 5 g de estiércol de los frascos de incubación. En las muestras donde se observaron aumentos consecutivos del N mineral entre lecturas (mineralización del N orgánico) se realizó la curva del N mineralizado acumulado (N_{min}) en función del tiempo y se calculó el N potencialmente mineralizable y su velocidad de mineralización específica (N₀ y k_N) a partir del ajuste de la curva a la Ec. 3.3:

$$N_{min} = N_0 * (1 - e^{-k_N * t})$$

Ec. 3.3 (Stanford & Smith, 1972)

Donde:

N_{min}: N mineralizado acumulado en el tiempo (mg . kg⁻¹).

N₀: fracción potencialmente mineralizable, (mg . kg⁻¹).

k_N: velocidad o tasa de mineralización específica (día⁻¹).

El N-NH₄ y N-NO₃ de cada muestra se determinaron mediante el método de destilación (FAO/OIEA, 1987). A 5 g de estiércol, se le adicionó una solución de cloruro de potasio (KCl) 2 M (relación 1:10) y se agitó por 1 hora. Posteriormente se filtró con un papel de filtro (Whatman N° 5) y una alícuota del extracto (20 mL) se destiló con una unidad de destilación TECATOR, modelo Kjeltex System 1002. Se recogió el destilado en una solución estandarizada de ácido clorhídrico (HCl) 0,005 N, en presencia de óxido de magnesio (MgO) para el NH₄⁺ y para el NO₃⁻ utilizando aleación de Devarda (Al, Zn y Cu) en polvo para reducir los nitratos a amonio. Luego el destilado se valoró con una solución estandarizada de hidróxido de sodio (NaOH) 0,005 N en presencia de un indicador mixto rojo de metilo - azul de metileno. Los valores de N-NH₄ y N-NO₃ se estimaron mediante la siguiente ecuación:

$$NNH_4 = \frac{A_1 * mN}{ala * (1 - H)} \quad \text{Ec. 3.4 (FAO/OIEA, 1987)}$$



Donde:

NNH_4 o NNO_3 : contenido de N- NH_4 o N- NO_3 ($mg \cdot kg^{-1}$).

mN : masa de nitrógeno en 1 mL de HCl (μg), considerando que: 1 mL HCl 0,005 N \equiv 1 mL NaOH 0,005 N \equiv 70 μg de N.

A_1 : volumen de HCl que han reaccionado con el $(NH_4)OH$: $A-B$ (mL).

A : volumen de HCl para recibir el NH_4OH (mL).

B : volumen de NaOH utilizados en la titulación (mL).

ala : alícuota de muestra fresca para análisis (g).

H : contenido de agua o humedad ($g \cdot g^{-1}$).

3.2.3.3.- Biomasa microbiana

Para la determinación de la biomasa microbiana de las muestras se empleó el método de fumigación-incubación para suelos descrito por Jenkinson & Powlson (1976). Se pre-incubaron 10 g de estiércol fresco de cada muestra en frascos herméticos a una temperatura de 28 °C por un período de 5 días. Luego se tomaron 5 g y expusieron a una atmósfera de cloroformo libre de alcohol (fumigación) por 24 horas dentro de un desecador, otros 5 g se mantuvieron sin fumigar. Trascorridas las 24 h, el exceso de cloroformo se eliminó mediante una bomba de vacío. Posteriormente las muestras fumigadas fueron inoculadas con una pequeña cantidad de estiércol sin fumigar (\cong 1 g) y se incubaron al igual que las muestras sin fumigar (testigos) en frascos herméticos por un período de 10 días a 28 °C.

El C de la biomasa microbiana (BMC) se determinó luego de la incubación por la lectura del CO_2 contenido en los frascos realizada con un cromatógrafo de gases Agilent, modelo 6890. Los valores se estimaron mediante la Ec. 3.5, formulada para determinar la BMC de suelos al aplicar la metodología señalada:

$$BMC = \frac{FC}{KC}$$

Ec. 3.5 (Voroney & Paul, 1984)

Donde:

FC: diferencia de la cantidad de C-CO₂ producido por el estiércol fumigado menos el C-CO₂ producido en el estiércol sin fumigar (mg C . kg⁻¹ materia seca).

KC: fracción teórica del BMC que fue mineralizada bajo las condiciones del ensayo (adim.).

Para la determinación del N de la biomasa microbiana (BMN) se realizó una extracción con solución de KCl 2 M y se cuantificó el N-NH₄ y el N-NO₃ en los estiércoles fumigados y no fumigados por el método de destilación (FAO/OIEA, 1987). Los valores se estimaron mediante la siguiente ecuación que permitió corregir la fracción del BMN que fue mineralizada bajo las condiciones del ensayo:

$$BMN = \frac{FN}{-0,014 * \frac{FC}{FN}} + 0,39$$

Ec. 3.6 (Voroney & Paul, 1984)

Donde:

FN: diferencia entre la cantidad de N mineral obtenido en el estiércol fumigado y el N mineral obtenido en el estiércol sin fumigar (mg N . kg⁻¹ materia seca).

Los valores de N y C mineralizables no microbianos (NMNM y CMNM) se calcularon según lo expuesto por Rice y García (1994), restando los valores de BMN y BMC a los de N₀ y de C₀, respectivamente.

3.2.3.4.- N y C orgánico total (NOT y COT)

El COT se determinó mediante el método de combustión húmeda de Walkley & Black (1934) modificado descrito por Gilabert *et al.* (1990), el cual se basa en una oxidación incompleta del COT por una mezcla oxidante de dicromato de potasio (K₂Cr₂O₇) y ácido sulfúrico (H₂SO₄), la cual es acentuada por el calor de dilución acuosa del H₂SO₄ (110-130 °C). La cantidad de agente oxidante consumido durante la reacción se determinó por titulación con sulfato ferroso amoniacal [Fe(NH₄)₂(SO₄)₂ · 6H₂O], en presencia de ácido fosfórico, NaF y del indicador difenilamina. El NOT se estimó por la diferencia del N total menos el N inorgánico.

3.2.4.5.- Relación C/N

Esta relación se estimó al dividir el COT entre el NOT.

3.2.4.- Evaluación de las características biológicas de los estiércoles

3.2.4.1.- Bacterias y hongos

Se realizaron recuentos de bacterias totales y hongos, según el método de dilución seriada y extensión en placa con medio selectivo descrito en el SGCL-IA-080 (2006), el cual requirió que se realizaran una serie de diluciones consecutivas (de 10^{-1} a 10^{-8}) a partir de una solución madre de estiércol en solución buffer estéril (relación 1:10) y se inocularan por duplicado pequeños volúmenes conocidos de cada una de dichas diluciones en placas de Petri estériles contenedoras de un medio sólido fundido y enfriado (agar nutritivo de extracto de carne-pectona para bacterias y agar rosa de bengala para hongos), y la posterior incubación en posición invertida a 25 °C hasta que aparecieron las colonias correspondientes (generalmente 72 horas), las cuales se contaron en un contador de colonias marca American Optical, modelo QUEBEC.

Conociendo la humedad de las muestras, el volumen sembrado, la dilución de la cual provenía y el número de colonias en la placa correspondiente, se determinó el número unidades formadoras de colonias por gramo de materia seca (UFC.g⁻¹ materia seca).

3.2.4.2.- Abundancia de microorganismos patógenos: coliformes totales y fecales

La determinación de coliformes en las muestras se realizó según el método del número más probable (NMP) descrito en el SGCL-IA-081 (2006), el cual consistió de una prueba presuntiva, que proporcionó una estimación de los coliformes totales, y una confirmativa, para estimar los coliformes fecales. La prueba presuntiva requirió la realización de una serie de diluciones consecutivas (de 10^{-1} a 10^{-8}) a partir de una solución madre de estiércol en solución fisiológica salina (relación 1:10). Se le agregó 1 mL de cada solución de la muestra diluida a tubos de ensayo que contenían 9 mL de un caldo lauryl-triptosa (pH 6,8) y un tubo Durham invertido. La incubación se realizó a 35 °C por 48 horas, en un baño de agua marca Gesellschaft Fur Labortechnik, modelo D3006 Burgwedel 1. La prueba se consideró positiva en

aquellos tubos en los que se constató la presencia de una burbuja en el interior del tubo Durham y negativa en el caso contrario.

Para la prueba confirmativa se seleccionaron los tubos positivos resultantes de la prueba anterior para inocular tubos que contenían 9 mL de un medio de complejo enzimático (caldo de bilis) y un tubo Durham invertido, se incubaron por la misma cantidad de tiempo a 45 °C y luego se contaron los tubos positivos y negativos. El NMP se determinó al llevar el número de tubos positivos presentes en cada dilución, a la tabla probabilística del instructivo analítico. El valor que esta proporcionó, multiplicado por el factor de dilución y el factor de corrección por humedad, permitió obtener el NMP por gramo de materia seca (NMP.g⁻¹ materia seca).

3.2.5.- Determinación de las relaciones entre el tipo de dieta del animal y la calidad como fertilizante del estiércol que produce

Mediante la revisión del material bibliográfico y la consulta con personal especializado se logró recopilar la información necesaria respecto al sistema digestivo de cada animal, los requerimientos nutricionales de las plantas, las condiciones que favorecen la calidad del suelo y los niveles de actividad biológica que no representan riesgo de contaminación, factores que determinan la calidad de los estiércoles.

Se realizó un análisis estadístico a cada variable considerada, para ello se aplicó un diseño experimental completamente al azar, con los seis tratamientos ya mencionados y cuatro repeticiones. Se realizó un análisis de varianza con el propósito de determinar el efecto de los tratamientos en estudio, para ello se hizo uso de la prueba F, la cual indicó si los efectos de los tratamientos fueron iguales o diferentes. En los casos donde se aceptó la hipótesis de que todos los tratamientos no tuvieron el mismo efecto, entonces fue necesario realizar pruebas de comparación de medias a fin de conocer entre cuales tratamientos existió diferencias significativas y para la separación de las medias se utilizó la prueba de Mínima Diferencia Significativa (MDS).

Para todas las pruebas se usó un nivel de significancia de 0,05. Se empleó el programa computacional Sistemas de Análisis Estadísticos o SAS versión 8,2 (SAS



Institute, Inc., 1996) como herramienta para efectuar todos los análisis de varianza, mediante el procedimiento GLM (PROC GLM).

A través de un análisis comparativo de cada una de los parámetros químicos, biológicos y bioquímicos del estiércol que aportan las diferentes dietas, la selección de los factores más influyentes sobre la calidad y la elaboración de una matriz de ponderación, se pudo determinar el nivel de calidad que proporcionó cada tipo de dieta y escoger el mejor estiércol a utilizar como fertilizante. Para la elaboración de dicha matriz fue necesario definir los tratamientos a evaluar, fijar los criterios de calidad más importantes y establecer la ponderación en porcentaje para cada criterio, otorgar a cada tratamiento la ponderación considerada en base a cada uno de los criterios de calidad, calcular la puntuación correspondiente multiplicando el porcentaje del criterio por la ponderación del tratamiento, sumar la puntuación de cada tratamiento y por último seleccionar el tratamiento con mayor puntuación.



CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.- SELECCIÓN DE DOS ESTIÉRCOLES VACUNO, PORCINO Y GALLINAZA EN BASE A LA DIETA DE LOS ANIMALES

Para la selección de los estiércoles se consideraron animales de igual edad, sexo y raza. En la Tabla 1 se presentan los estiércoles seleccionados con los cuales se llevó a cabo esta investigación, su procedencia, el sistema de producción a la cual se encontraba sujeto el animal que lo proporcionó y la dieta o alimentación suministrada a dichos animales. Para cada tratamiento se tomaron cuatro muestras ($n=4$) provenientes de diferentes animales, la humedad promedio que estas presentaron se señala en la Tabla 2. La gallinaza fue el estiércol con menor humedad en comparación con el resto.

El criterio de selección de las excretas animales (EA) se basó en grados o niveles de diferencia entre las dietas. Como se puede observar en la Tabla 1, la alimentación 1 (A1) suministrada al ganado vacuno consistía de residuos de cerveceras, pasto y algunos suplementos minerales, mientras que la alimentación 2 (A2) solamente de pasto. En cuanto a los dos estiércoles porcinos seleccionados, estos provenían de diferentes sistemas de producción, uno intensivo donde se le proporcionaba al animal la A1, constituida por una fórmula comercial de alto nivel nutritivo (concentrado), y el otro tradicional en el cual se le proporcionaba al animal la A2, constituida por residuos de comida de comedores escolares y por verduras producidas en la misma granja. La A1 suministrada a las gallinas difería de la A2 sólo en cuanto a la composición nutricional ya que ambas consistían de concentrados elaborados prácticamente con los mismos ingredientes.

Tabla 1. Procedencia de los estiércoles vacunos (bostas), porcinos (cerdazas) y de gallinas (gallinazas) seleccionados, sistemas de producción y dieta de los animales que lo proporcionaron

Estiércol	Procedencia	Sistema de producción	Dieta
Bosta	Finca Rancho Alegre, ubicada en el municipio San Felipe del estado Yaracuy	Vacunos de producción tradicional de leche	A1: Residuos de cervecerías (derivados de la cebada) y suplementos minerales. Pasto durante la noche
		Vacunos de producción extensiva de carne	A2: Exclusivamente pasto
Cerdaza	Graja porcina de Mariara, estado Aragua	Porcinos de producción intensiva de carne	A1: Fórmula comercial que contiene los siguientes ingredientes: maíz y/o trigo y/o sorgo, subproductos de trigo y/o maíz, harinas de ajonjolí y/o soya y/o pescado y/o algodón y/o plumas y/o carne y/o grasa animal y/o vegetal, vitaminas y minerales, carbonato y/o fosfato de calcio, sal, sulfato de cobre y de hierro, ácido arsenílico y antibióticos
	Granja familiar ubicada en Valencia, estado Carabobo	Porcinos de producción tradicional de carne	A2: Desperdicios de comida de comedores escolares, bagazo de caña, frutos de calabaza y otras verduras producidas en la misma granja
Gallinaza	Granja avícola del CENIAP-INIA, ubicada en Maracay, estado Aragua	Gallinas ponedoras criadas en jaulas (producción intensiva) Gallinas de engorde criadas en jaulas (producción intensiva)	A1: Fórmula comercial que posee la siguiente composición porcentual: 12,5 % máximo de humedad, 16,0 % mínimo de proteína cruda, 3,5 % mínimo de grasa cruda, 4,5 % máximo de fibra cruda, 4,2 % máximo de Ca, 0,45 % mínimo de P y 48,5 % mínimo de extracto libre de N A2: Fórmula comercial que posee la siguiente composición porcentual: 12,5 % máximo de humedad, 19,0 % mínimo de proteína cruda, 2,5 % mínimo de grasa cruda, 4,0 % máximo de fibra cruda, 1,1 % máximo de Ca, 0,5 % mínimo de P y 54,5 % mínimo de extracto libre de N

Nota. A1: alimentación 1, A2: alimentación 2.

Tabla 2. Humedad promedio ($n = 4$) de las muestras de estiércol vacuno (B), porcino (C) y de gallina (G)

Tratamientos		g de H ₂ O . g ⁻¹ de materia fresca
B	A1	0,66 (0,03)
	A2	0,62 (0,11)
G	A1	0,54 (0,11)
	A2	0,53 (0,04)
C	A1	0,66 (0,02)
	A2	0,71 (0,02)

Nota. Los resultados expresados entre paréntesis son valores de desviación estándar. A1: alimentación 1, A2: alimentación 2.

4.2.- DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS ESTIÉRCOLES

Los parámetros considerados para evaluar la calidad química de las EA fueron la composición química referente a macro y microelementos, el pH y la conductividad eléctrica.

4.2.1.- Composición química

4.2.1.1.- Macroelementos

Los valores promedio obtenidos de N, P, K, Mg, Ca y S para cada tratamiento son mostrados en las figuras enumeradas desde 1 hasta 6. Como se puede observar en las mismas, los valores obtenidos para la bosta fueron significativamente ($P < 0,05$) menores con respecto a los obtenidos para los otros estiércoles para cada uno de los macroelementos. La dieta suministrada a los vacunos no ejerció una influencia importante sobre el contenido de dichos nutrientes en sus estiércoles ya que en ningún caso se observaron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$) entre B-A1 y B-A2 al realizar los análisis de varianza respectivos; sin embargo, los resultados obtenidos muestran concentraciones de N, P, K y S un poco mayores en B-A1.

La gallinaza presentó contenidos promedio de K, Ca y S significativamente mayores que los de la cerdaza y en el caso del Ca y el S, significativamente diferentes entre los estiércoles provenientes de aves con diferentes dietas ($P < 0,05$), siendo los de G-A1 mayores a los de G-A2 debido al alto consumo de Ca y de S que requieren las

gallinas ponedoras para la formación de la cáscara y la yema del huevo, respectivamente (Church y Pond, 1996). Por otra parte, el contenido promedio de N de G-A2 fue significativamente ($P < 0,05$) menor al observado en G-A1 y al encontrado en la cerdaza (Figura 1).

El tratamiento C-A1 presentó contenidos promedio de N, P y Mg mayores a los de C-A2 y a los observados en la gallinaza, siendo el de Mg significativamente mayor (Figura 4), mientras que el tratamiento C-A2 presentó contenidos promedio de P y Mg significativamente menores que los de la gallinaza ($P < 0,05$). La dieta suministrada a los porcinos ejerció una influencia considerable sobre el contenido de macroelementos (con excepción del S) en las cerdazas ya que se observaron diferencias significativas ($P < 0,05$) al comparar los valores obtenidos para C-A1 y C-A2. El tratamiento C-A1 fue mayor que el C-A2 en cuanto al contenido de N, P, Mg y S.

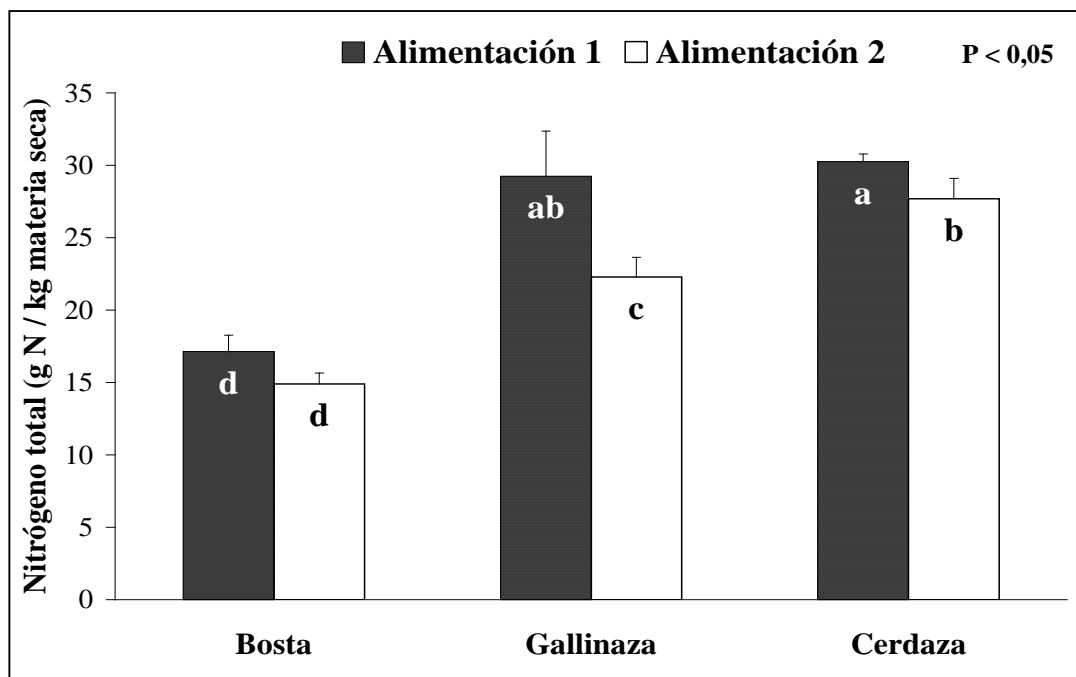


Figura 1. Nitrógeno total promedio ($n = 4$) en estiércol de vacuno (bosta), estiércol de gallina (gallinaza) y estiércol de porcino (cerdaza). Diferentes letras representan diferencias significativas entre los tratamientos a $P < 0,05$. Las barras de error son valores de desviación estándar.

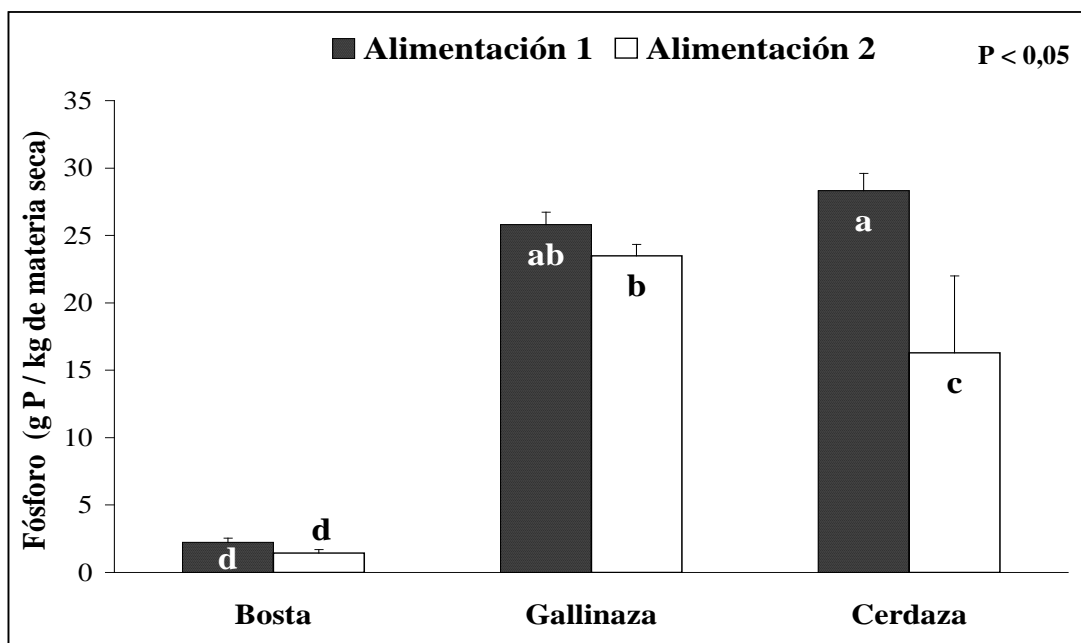


Figura 2. Fósforo promedio ($n = 4$) en estiércol de vacuno (bosta), estiércol de gallina (gallinaza) y estiércol de porcino (cerdaza). Diferentes letras representan diferencias significativas entre los tratamientos a $P < 0,05$. Las barras de error son valores de desviación estándar.

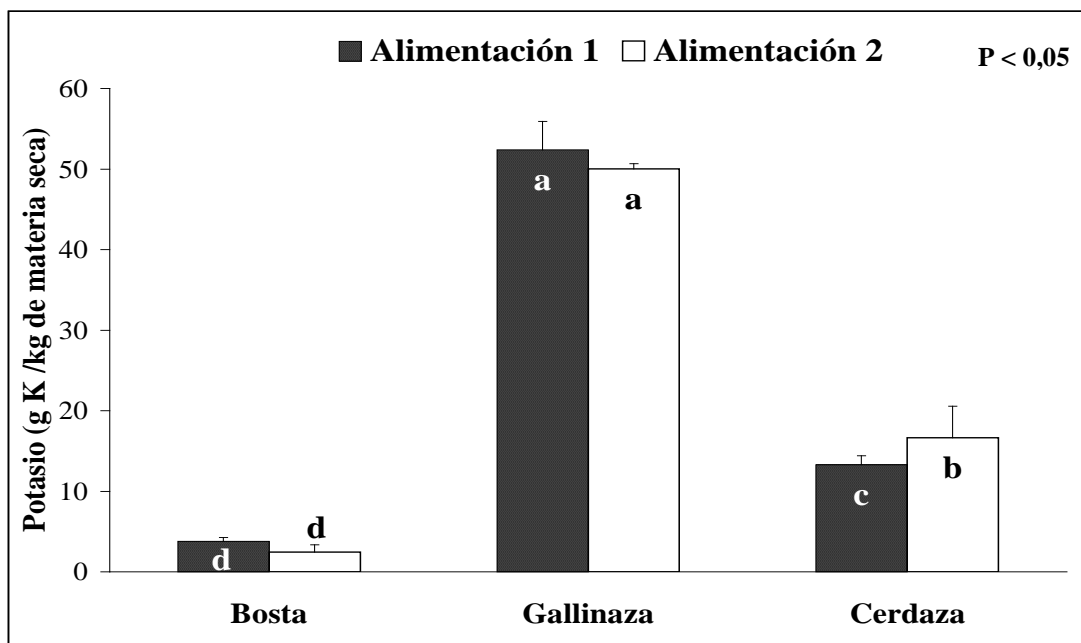


Figura 3. Potasio promedio ($n = 4$) en estiércol de vacuno (bosta), estiércol de gallina (gallinaza) y estiércol de porcino (cerdaza). Diferentes letras representan diferencias significativas entre los tratamientos a $P < 0,05$. Las barras de error son valores de desviación estándar.

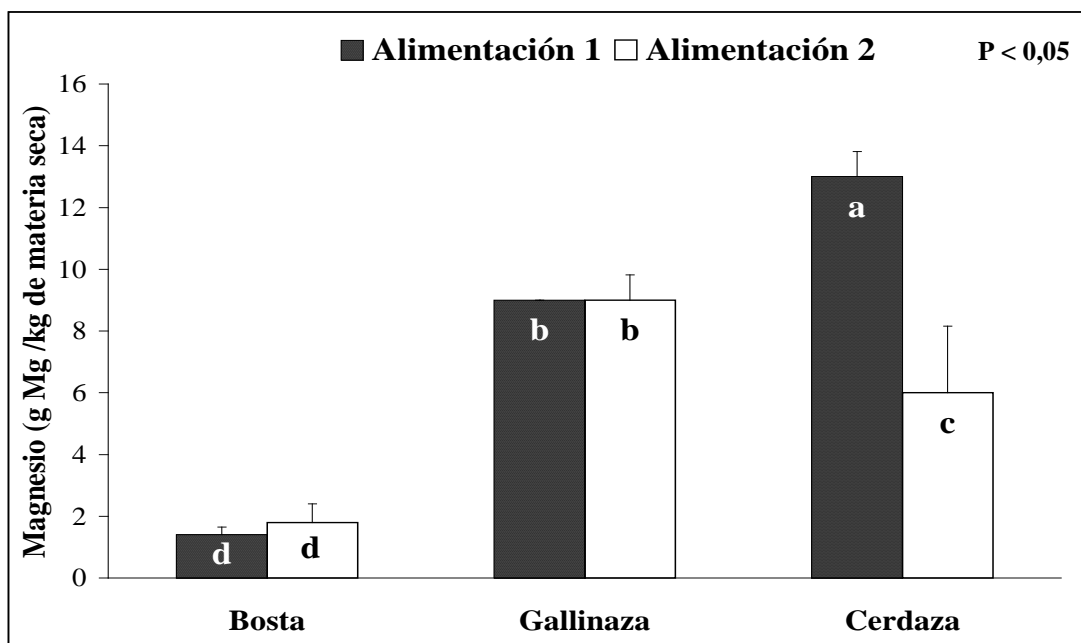


Figura 4. Magnesio promedio ($n = 4$) en estiércol de vacuno (bosta), estiércol de gallina (gallinaza) y estiércol de porcino (cerdaza). Diferentes letras representan diferencias significativas entre los tratamientos a $P < 0,05$. Las barras de error son valores de desviación estándar.

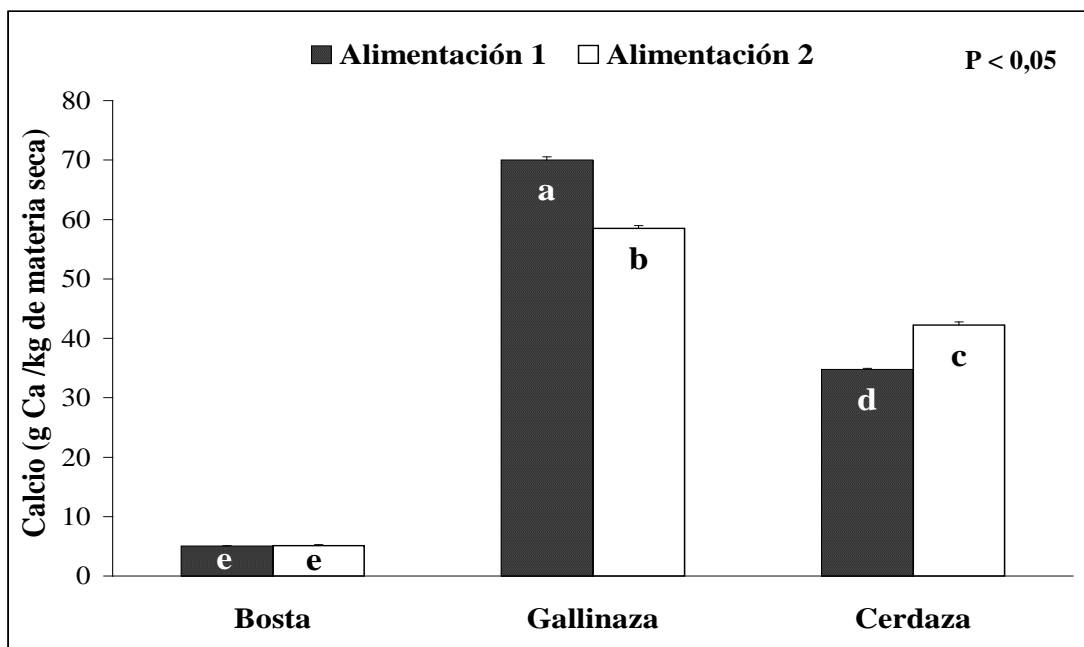


Figura 5. Calcio promedio ($n = 4$) en estiércol de vacuno (bosta), estiércol de gallina (gallinaza) y estiércol de porcino (cerdaza). Diferentes letras representan diferencias significativas entre los tratamientos a $P < 0,05$. Las barras de error son valores de desviación estándar.

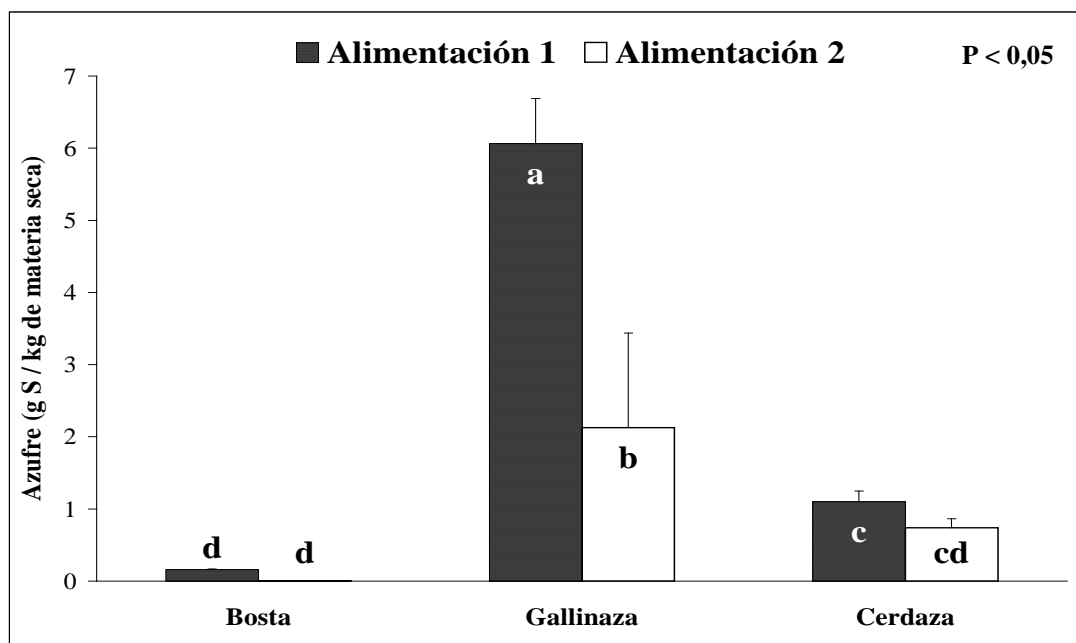


Figura 6. Azufre disponible promedio ($n = 4$) en estiércol de vacuno (bosta), estiércol de gallina (gallinaza) y estiércol de porcino (cerdaza). Diferentes letras representan diferencias significativas entre los tratamientos a $P < 0,05$. Las barras de error son valores de desviación estándar.

Los valores obtenidos del contenido promedio de N en la bosta fueron similares a los reportados por Marcano *et al.* (2003) y Trinidad (1987). Los de P y K fueron cercanos a los indicados por García y Bianchini (2005), Muñoz (2001), Andrioli *et al.* (1998) y Castellón (1993). Respecto al de Mg, su valor fue igual a los reportados por Marcano *et al.* (2003) y Andrioli *et al.* (1998), sin embargo, el de Ca fue aproximadamente el doble al reportado por estos autores.

Muñoz (2001) indicó que el contenido de N en la gallinaza se encontraba entre 20 y 30 g . kg⁻¹ en base seca, mientras que Ríos *et al.* (2005) indicaron valores de P comprendidos entre 21 y 30 g . kg⁻¹ y de Ca entre 54 y 104 g . kg⁻¹, ambos en base seca. Los valores promedio obtenidos para este estiércol se encuentran dentro de estos rangos. Contreras *et al.* (2004) y Rivero y Carracedo (1999) reportaron valores de N cercanos a 30 g . kg⁻¹ en base seca, similares al promedio obtenido para G-A1 pero menores al de G-A2, mientras que Méndez *et al.* (2004) y Trinidad (1987) obtuvieron valores mayores de 37 g . kg⁻¹ en base seca. Los valores de Mg son similares a los que indicaron Contreras *et al.* (2004), Muñoz (2001) y Trinidad (1987). Contreras *et*

al. (2004) señalaron un contenido de K de $50 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ en base seca, valor muy similar al promedio obtenido en este estudio, mientras que Muñoz (2001) y Trinidad (1987) reportaron un contenido menor de $19 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ en base seca.

Los valores de P reportados en la bibliografía para la gallinaza varían en un amplio rango, desde el $8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ en base seca reportado por Rivero y Carracedo (1999) hasta el $30,4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ en base seca reportado por Méndez *et al.* (2004). Similar a lo que fue encontrado para los valores de Ca, los cuales varían desde el $45,5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ en base seca reportado por Muñoz (2001) hasta el $154 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ en base seca reportado por Méndez *et al.* (2004). Los contenidos de P y Ca de G-A1 y G-A2 se encuentran dentro de estos rangos.

En cuanto al contenido de macroelementos en la cerdaza, los valores promedio obtenidos de P, K, Mg y Ca se encuentran dentro del rango de valores señalados por Herrera y Peralta (2003). Se pudo observar una alta variabilidad entre los reportes del contenido N, desde el $5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ en base seca indicado por Bellapart (1996) y Romera (1995) hasta el $64 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ en base seca señalado por Salazar (2003). Los valores de este elemento en C-A1 y C-A2 son intermedios a los encontrados en la bibliografía. Muñoz (2001) reporta valores de P y Mg en cerdaza similares a los promedios medidos en este estudio, sin embargo, los valores de K y Ca fueron aproximadamente el doble de los reportados por dicho autor. Bellapart (1996) señaló un contenido de K de $13,3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ en base seca, el cual fue el mismo que el promedio de K en C-A1. Salazar (2003) indicó valores de P y Ca menores a los encontrados en los tratamientos C.

Para la cerdaza, Romera (1995) señaló un contenido de $1,4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ en base seca, valor similar al contenido de S medido en C-A1. No se encontraron valores de concentración de S disponible reportados para la gallinaza ni el estiércol vacuno.

El menor contenido de N encontrado en la bosta pudo deberse a que el pasto consumido por los bovinos era de baja calidad, es decir, rico en celulosa, lignina y hemicelulosa; y bajo en proteína y por lo tanto en N. Una dieta con pasto de bajo contenido proteico produce un estiércol bajo en N (Atlas y Bartha, 2006). De igual forma pudo deberse a pérdidas por volatilización debidas a su pH alcalino ($\cong 9$).

Según Tisdale *et al.* (1993), las EA pueden perder de 10 a 60% de su N por volatilización en forma de amoníaco (NH_3), principalmente a $\text{pH} > 8$.

4.2.1.2.- Microelementos

De la Figura 7 a la Figura 10 se muestran los valores promedio obtenidos de Fe, Zn, Mn y Cu para cada tratamiento. Según estos resultados, el tratamiento C-A1 fue significativamente mayor ($P < 0,05$) al resto en cuanto al contenido promedio de Fe, Zn y Cu, con valores de 2038, 618 y 2133 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ de materia seca, respectivamente, mientras que la gallinaza en cuanto al de Mn, con un valor de 428 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ de materia seca. La dieta suministrada a los vacunos y a las gallinas sólo influyó significativamente ($P < 0,05$) sobre el contenido de Mn, siendo B-A2 $>$ B-A1 y G-A2 $>$ G-A1 (Figura 10) y la dieta suministrada a los porcinos tuvo un efecto significativo ($P < 0,05$) sobre los contenidos de Fe, Zn y Cu. El contenido promedio de Cu en la gallinaza y en C-A2 fue ~ 97 % menor que en C-A1 y en la bosta este elemento no fue detectado.

El contenido de microelementos obtenidos para la bosta fue casi siempre menor al compararlo con el reportado por otros autores. Marcano *et al.* (2003), Castellón (1993) y Duarte *et al.* (1990) indicaron valores de contenido Fe entre 2000 y 3000 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ en base seca, sólo Jiménez *et al.* (2004) reportó un contenido de 330 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ en base seca, valor más cercano a los promedios obtenidos en B-A1 y B-A2. Salazar *et al.* (2005) y Trinidad (1987) indicaron valores de contenido Zn de 198 y 130 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ en base seca, respectivamente, mientras que Castellón (1993) y Duarte *et al.* (1990) señalaron valores de 16 y 22 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ en base seca, los cuales son más cercanos a los que se obtuvieron para la bosta en este estudio.

Jiménez *et al.* (2004), Marcano *et al.* (2003) y Duarte *et al.* (1990) obtuvieron valores de contenido de Mn en estiércol vacuno comprendidos entre 220 y 550 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ en base seca y de Cu entre 120 y 380 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ en base seca, sólo los valores de Mn y Cu reportados por Castellón (1993) de 38 y 2 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ en base seca, respectivamente, son similares a los medidos en B-A1.

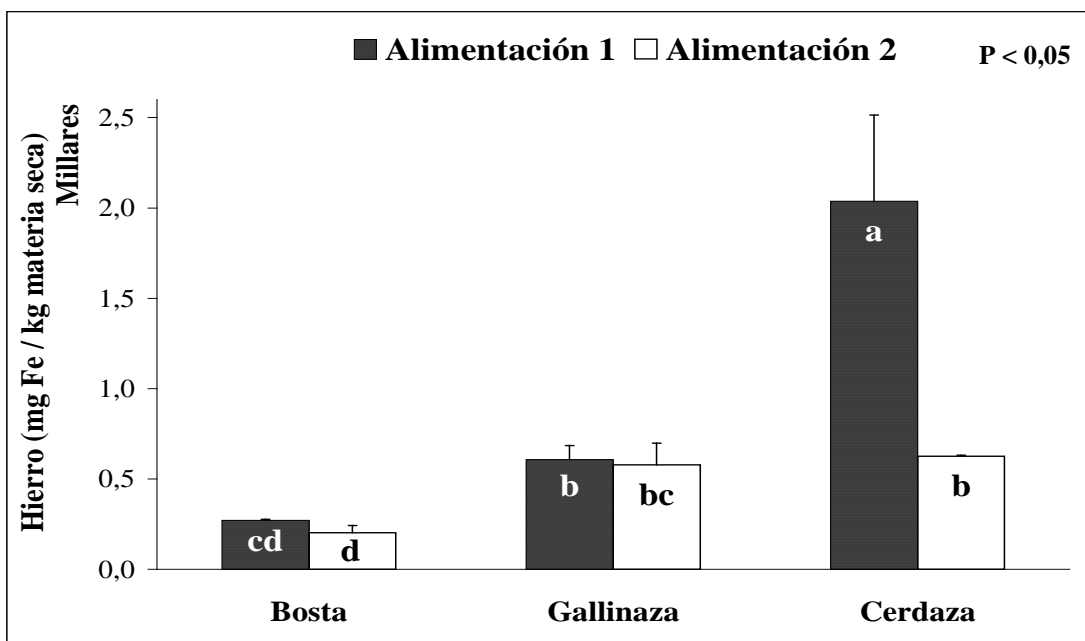


Figura 7. Hierro promedio ($n = 4$) en estiércol de vacuno (bosta), estiércol de gallina (gallinaza) y estiércol de porcino (cerdaza). Diferentes letras representan diferencias significativas entre los tratamientos a $P < 0,05$. Las barras de error son valores de desviación estándar.

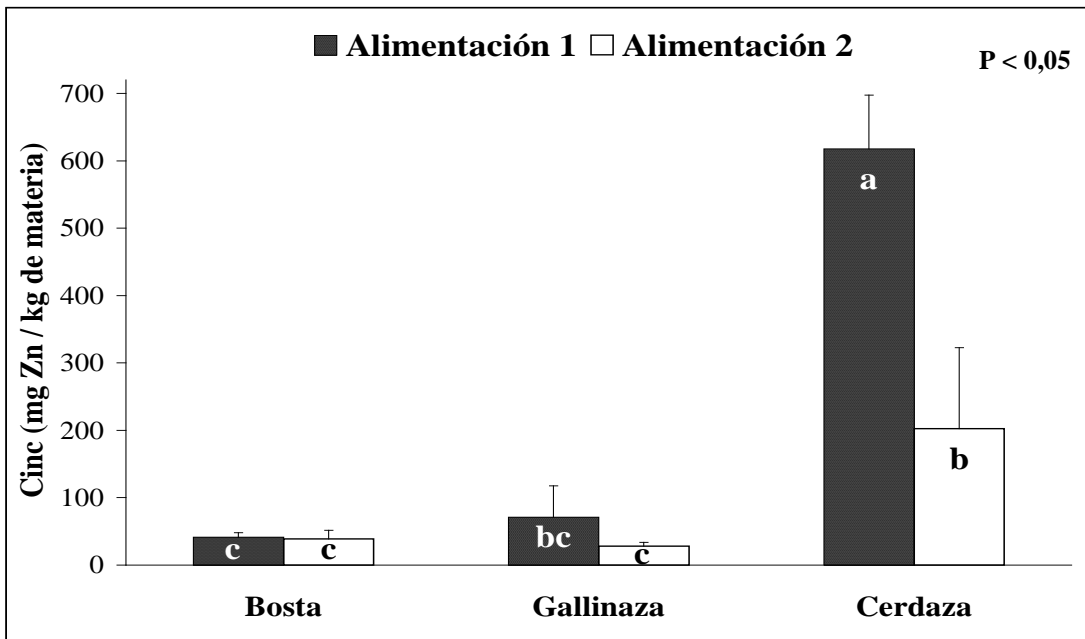


Figura 8. Cinc promedio ($n = 4$) en estiércol de vacuno (bosta), estiércol de gallina (gallinaza) y estiércol de porcino (cerdaza). Diferentes letras representan diferencias significativas entre los tratamientos a $P < 0,05$. Las barras de error son valores de desviación estándar.

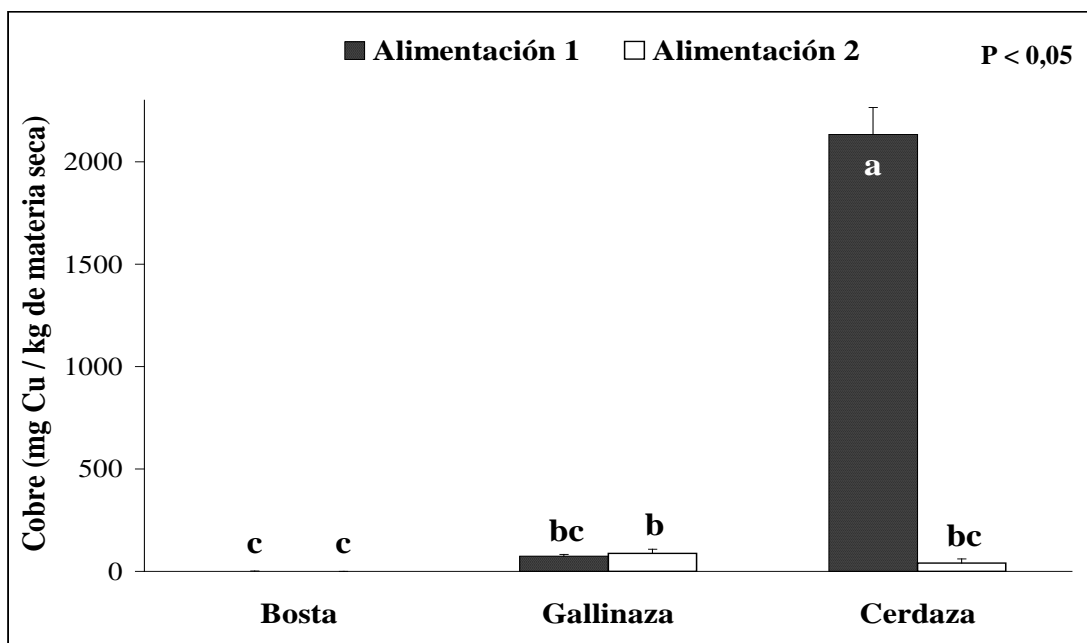


Figura 9. Cobre promedio ($n = 4$) en estiércol de vacuno (bosta), estiércol de gallina (gallinaza) y estiércol de porcino (cerdaza). Diferentes letras representan diferencias significativas entre los tratamientos a $P < 0,05$. Las barras de error son valores de desviación estándar.

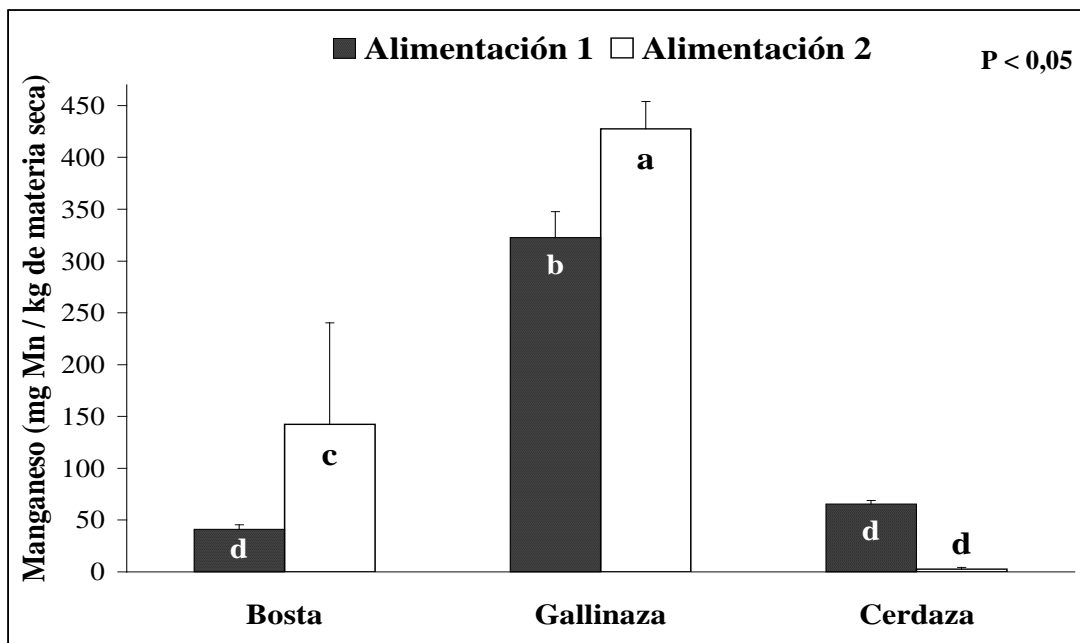


Figura 10. Manganeso promedio ($n = 4$) en estiércol de vacuno (bosta), estiércol de gallina (gallinaza) y estiércol de porcino (cerdaza). Diferentes letras representan diferencias significativas entre los tratamientos a $P < 0,05$. Las barras de error son valores de desviación estándar.

Muñoz (2001) señala valores de Fe, Zn, Mn y Cu en la gallinaza de 1675, 270, 350 y 485 mg . kg⁻¹ en base seca, respectivamente, de los cuales sólo el de Mn es similar al que se obtuvo para este estiércol, ya que los otros son mucho mayores a los encontrados en G-A1 y G-A2. Los valores reportados por Trinidad (1987) de Fe, Zn y Cu son igualmente mayores a los de dichos tratamientos y el de Mn similar. Méndez *et al.* (2004) obtuvieron en sus resultados un contenido de Cu de 60 mg . kg⁻¹ en base seca, similar a los promedios medidos en G-A1 y G-A2.

El contenido promedio de microelementos en C-A1 y en C-A2 estuvo dentro del rango señalado por Herrera y Peralta (2003), con excepción del Mn, cuya concentración fue menor que la reportada por este autor. Castellón (1993) encontró concentraciones bajas de Fe y Zn en cerdaza, con valores 335 y 64 mg . kg⁻¹ en base seca, respectivamente, mientras que la concentración de Mn fue cercana a la que se midió en C-A1 y la de Cu fue igual al promedio de C-A2 (40 mg . kg⁻¹ en base seca). Por su parte, Muñoz (2001) indicó contenidos de Zn y Cu similares a los medidos en C-A1, un contenido menor de Fe (357 mg . kg⁻¹ en base en base seca) similar al encontrado por Castellón (1993) y un contenido mayor de Mn (319 mg . kg⁻¹ en base en base seca).

Los resultados obtenidos en cuanto a concentración de macro y microelementos demuestran que factores ligados al animal y al alimento pueden influir directamente sobre la composición química de las excretas. Se observa una alta variabilidad entre las concentraciones de dichos elementos reportadas en la bibliografía, lo que permite resaltar la alta influencia que tiene la dieta, el sistema digestivo del animal y el sistema de producción sobre el contenido de elementos nutritivos en las EA.

4.2.2.- pH

En general, las excretas de vacunos y de gallinas resultaron ser de pH alcalino, con valores promedios cercanos a 9 para las bostas y valores entre 8 y 9 para las gallinazas (Tabla 3). Entre estas dos EA no se encontraron diferencias significativas ($P < 0,05$) pero si con respecto a la cerdaza. Las de porcinos resultaron poseer valores pH de ácidos a neutros, ya que los valores obtenidos estuvieron comprendidos entre 6

y 7. La diferencia en las dietas sólo afectó significativamente ($P < 0,05$) el pH de la gallinaza.

Tabla 3. pH promedio ($n = 4$) de las muestras de estiércol vacuno (B), porcino (C) y de gallina (G)

Tratamientos		pH
B	A1	9,4 ^a (0,2)
	A2	9,0 ^a (0,1)
G	A1	8,4 ^b (0,3)
	A2	9,1 ^a (0,2)
C	A1	6,2 ^c (0,3)
	A2	6,4 ^c (0,5)

Nota. Diferentes letras dentro de la misma columna representan diferencias significativas entre los tratamientos a $P < 0,05$. Los resultados expresados entre paréntesis son valores de desviación estándar.

A1: alimentación 1, A2: alimentación 2.

El elevado contenido de Ca que presentó la gallinaza, pudo ser una de las causas de su elevado pH, ya que este elemento contribuye a la neutralización de la acidez debido a la producción de iones OH^- como consecuencia de la reacción del agua con el carbonato, siendo generalmente éste la forma principal de Ca presente (Rivero y Carracedo, 1999).

El pH de las EA oscila comúnmente entre el 7 de las originadas por el ganado porcino (Marcano *et al.*, 2003; Salazar *et al.*, 2005; Trinidad, 1987) al 8 de las del ganado vacuno (Muñoz, 2001; Salazar, 2003). Para la gallinaza se han reportados valores que van de 7,5 a 8,1 (Quesada y Méndez, 2005; Contreras *et al.*, 2004; Trinidad, 1987). El valor promedio de pH medido en la cerdaza fue ligeramente menor al reportado en la bibliografía, mientras que el de la bosta y la gallinaza resultó más alcalino. Sin embargo, Kimani & Lekasi (2004) señalan valores de pH en estiércol vacuno fresco de entre 8 y 9.

4.2.3.- Conductividad eléctrica

Los valores mayores de conductividad eléctrica (CE), la cual es indicativa del contenido general de sales, se observaron para la gallinaza. Se encontraron

diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los resultados promedio de los tres tipos de estiércoles evaluados pero no entre los provenientes de animales del mismo tipo con diferentes dietas (Figura 28). La CE de la cerdaza fue menor comparada con la de la gallinaza en $\sim 41\%$ y la de la bosta en $\sim 91\%$. Aso y Bustos (1991) reportaron valores de conductividad para la gallinaza y la cerdaza de $14,2$ y $9,4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, respectivamente, los cuales son similares a los obtenidos. Sin embargo, el valor reportado por Aso y Bustos (1991) para la bosta de $6,3 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ fue considerablemente mayor al obtenido en este estudio. De manera similar, Salazar *et al.* (2005) encontraron un valor superior de CE ($5,52 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) para la bosta.

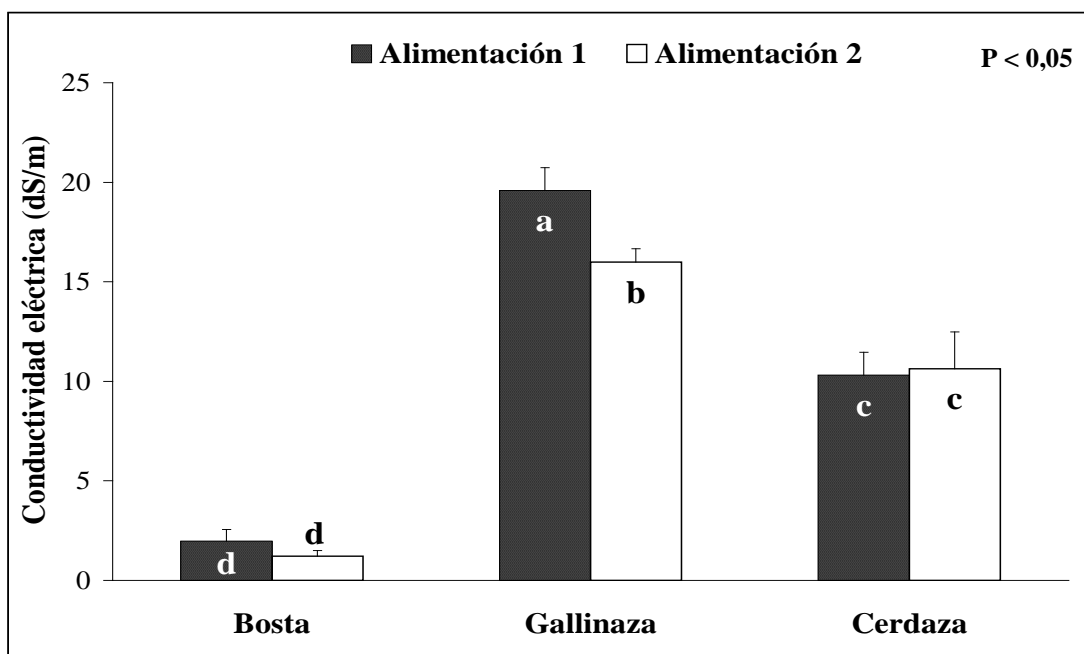


Figura 11. Conductividad eléctrica promedio ($n = 4$) en estiércol de vacuno (bosta), estiércol de gallina (gallinaza) y estiércol de porcino (cerdaza). Diferentes letras representan diferencias significativas entre los tratamientos a $P < 0,05$. Las barras de error son valores de desviación estándar.

A pesar de que los estiércoles de vacunos contienen por lo general un menor contenido de sales que las de porcinos y gallinas, como lo indica la bibliografía, las muestreadas fueron excepcionalmente mucho más pobres en sales, sobre todo las de los vacunos alimentados sólo con pasto.

4.3.- FRACCIONAMIENTO DE LA MATERIA ORGÁNICA DE LOS ESTIÉRCOLES

La incubación de los estiércoles se realizó para cuantificar las fracciones activas del C y el N orgánico total (COT y NOT) presentes, las tasas de mineralización de C y la evolución del N mineral en el tiempo, parámetros que se consideraron importantes como bases para evaluar la calidad de un estiércol. La relación C/N se encuentra estrechamente relacionada a dichos parámetros, por lo que fue un aspecto importante a considerar.

4.3.1.- Carbono mineralizable y tasa de mineralización

Las tasas de mineralización de C (flujo de CO₂) de las EA estudiadas son mostradas en las figuras 12a, 13a y 14a. En general, durante el tiempo de incubación (\cong 35 días) el C mineralizado acumulado (Cmin) en B-A1 fue mayor al observado en B-A2 (Figura 12b). En ambos las tasas de producción de CO₂ se mantuvieron relativamente constantes a lo largo del periodo de incubación. Como se puede observar en la Figura 12b, la cantidad final de Cmin en B-A1 (9,51 g C . kg⁻¹ de materia seca) fue significativamente (P<0,05) mayor al acumulado final en B-A2 (6,02 g C . kg⁻¹ de materia seca). Esto es indicativo de que B-A1 contenía más fracciones lábiles de C en comparación con B-A2.

Con respecto a la gallinaza, no se observaron diferencias marcadas entre las tasas de mineralización de G-A1 y G-A2 (Figura 13a), las cuales tienen una tendencia a disminuir con el tiempo de incubación, indicando una disminución en la actividad microbiana. La elevada actividad microbiana en la etapa inicial de la incubación pudo ser consecuencia de la degradación de compuestos fácilmente metabolizables. Los mismos tienden a agotarse relativamente rápido, por lo que progresivamente fue quedando el material relativamente más estable que se descompone más lentamente (Beloso, 1991). La cantidad de Cmin en G-A1 y G-A2 fue de 8,33 y 7,38 g C . kg⁻¹ de materia seca, respectivamente (Figura 13b).

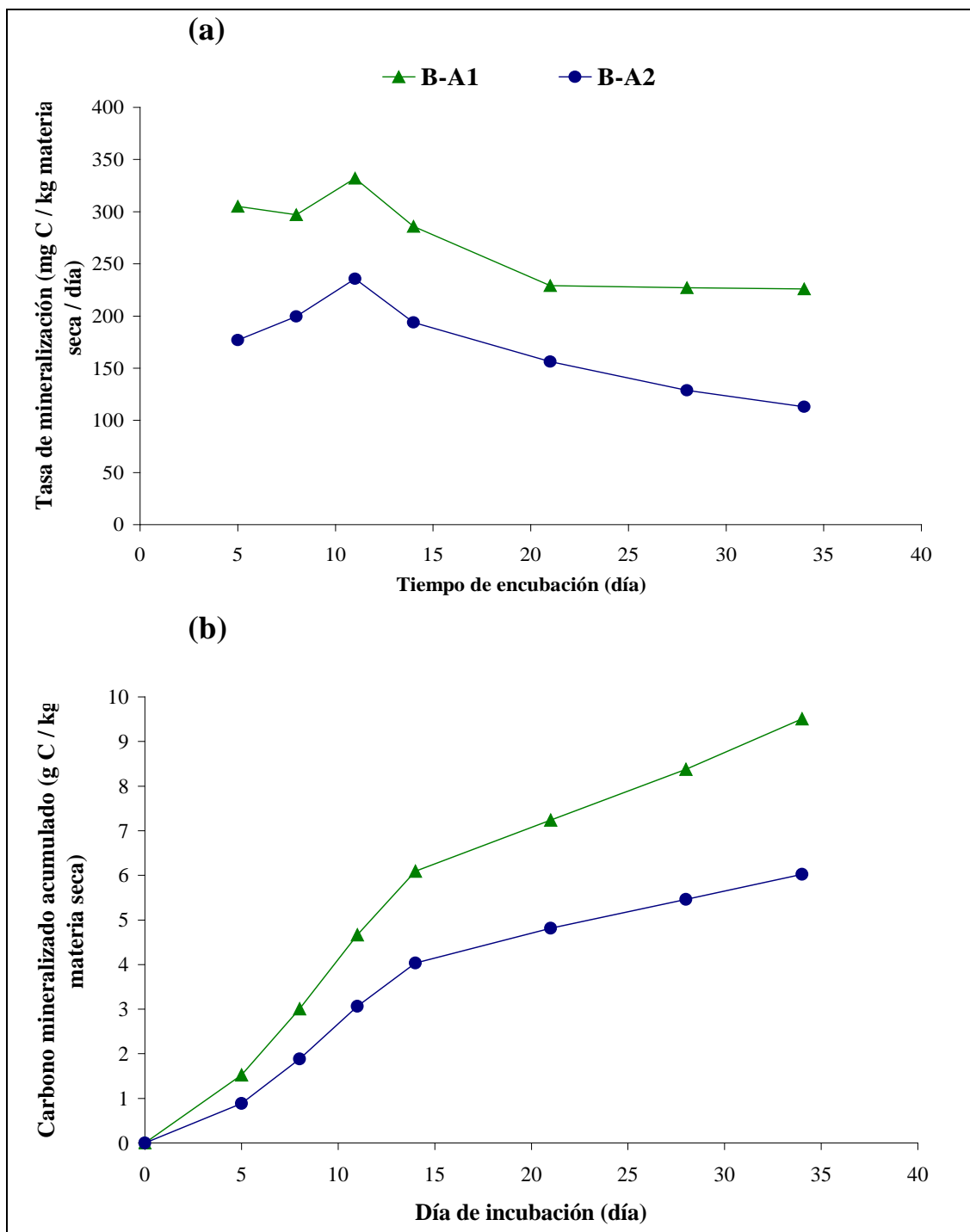


Figura 12. Tasa de producción de CO₂ (a) y carbono mineralizado acumulado (b) en el tiempo de incubación. Cada valor es el promedio de 4 muestras de estiércol de vacuno (bosta) proveniente de animales bajo dos regimenes alimenticios distintos.

B-A1: bosta proveniente de animales bajo Alimentación 1

B-A2: bosta proveniente de animales bajo Alimentación 2

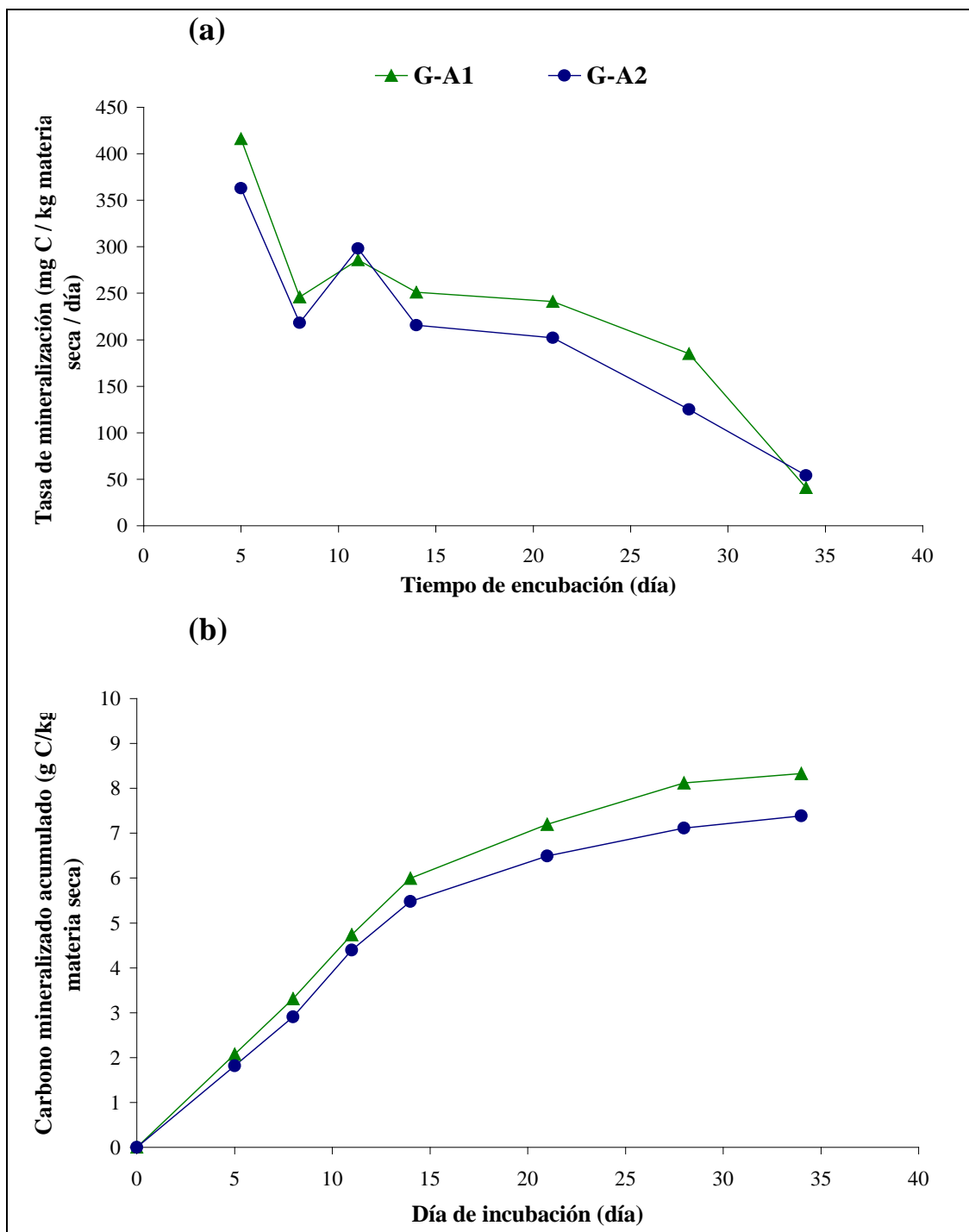


Figura 13. Tasa de producción de CO₂ (a) y carbono mineralizado acumulado (b) en el tiempo de incubación. Cada valor es el promedio de 4 muestras de estiércol de gallina (gallinaza) proveniente de animales bajo dos regimenes alimenticios distintos.

**G-A1: gallinaza proveniente de animales bajo Alimentación 1
G-A2: gallinaza proveniente de animales bajo Alimentación 2**

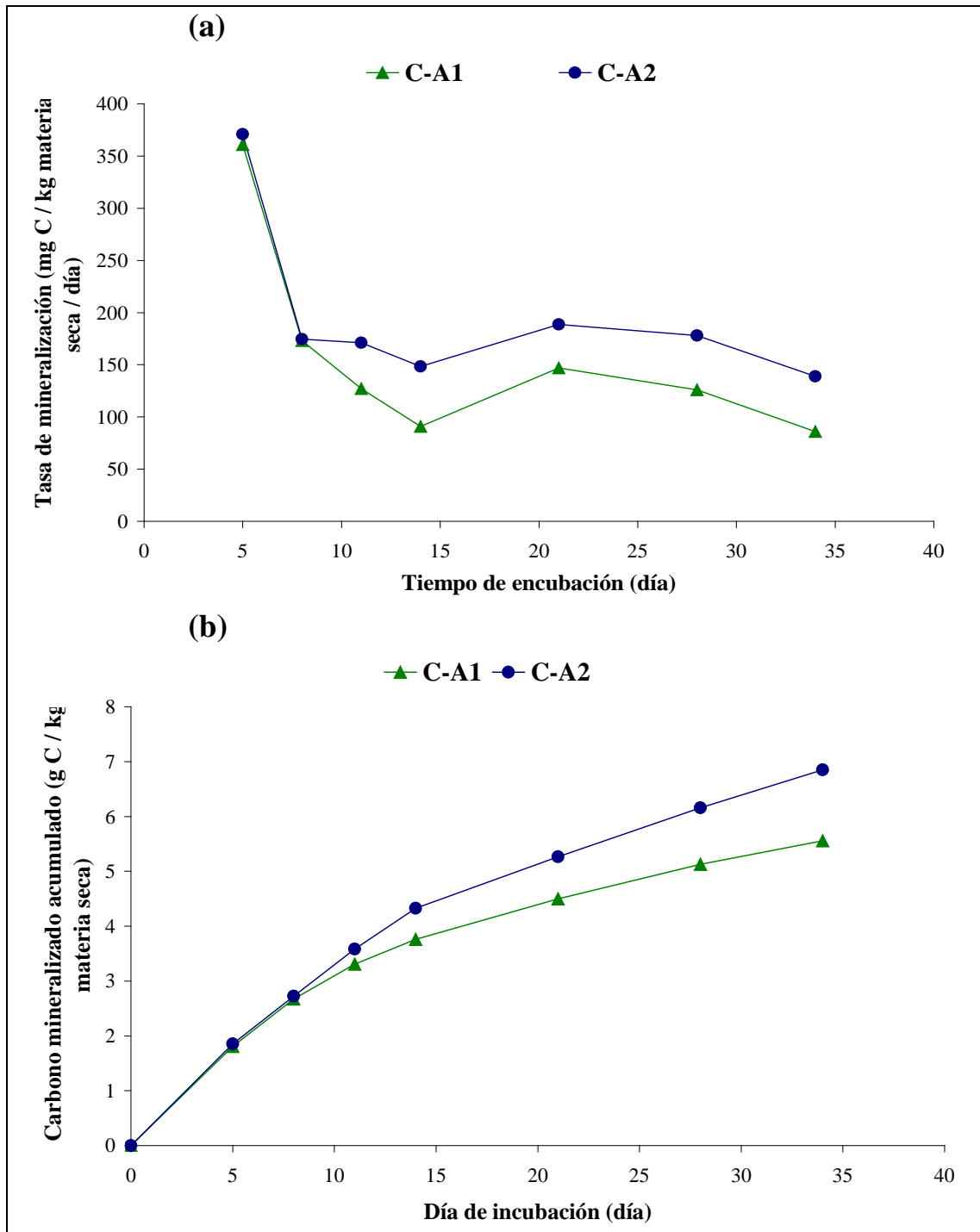


Figura 14. Tasa de producción de CO₂ (a) y carbono mineralizado acumulado (b) en el tiempo de incubación. Cada valor es el promedio de 4 muestras de estiércol de porcino (cerdaza) proveniente de animales bajo dos regimenes alimenticios distintos.

C-A1: cerdaza proveniente de animales bajo Alimentación 1

C-A2: cerdaza proveniente de animales bajo Alimentación 2

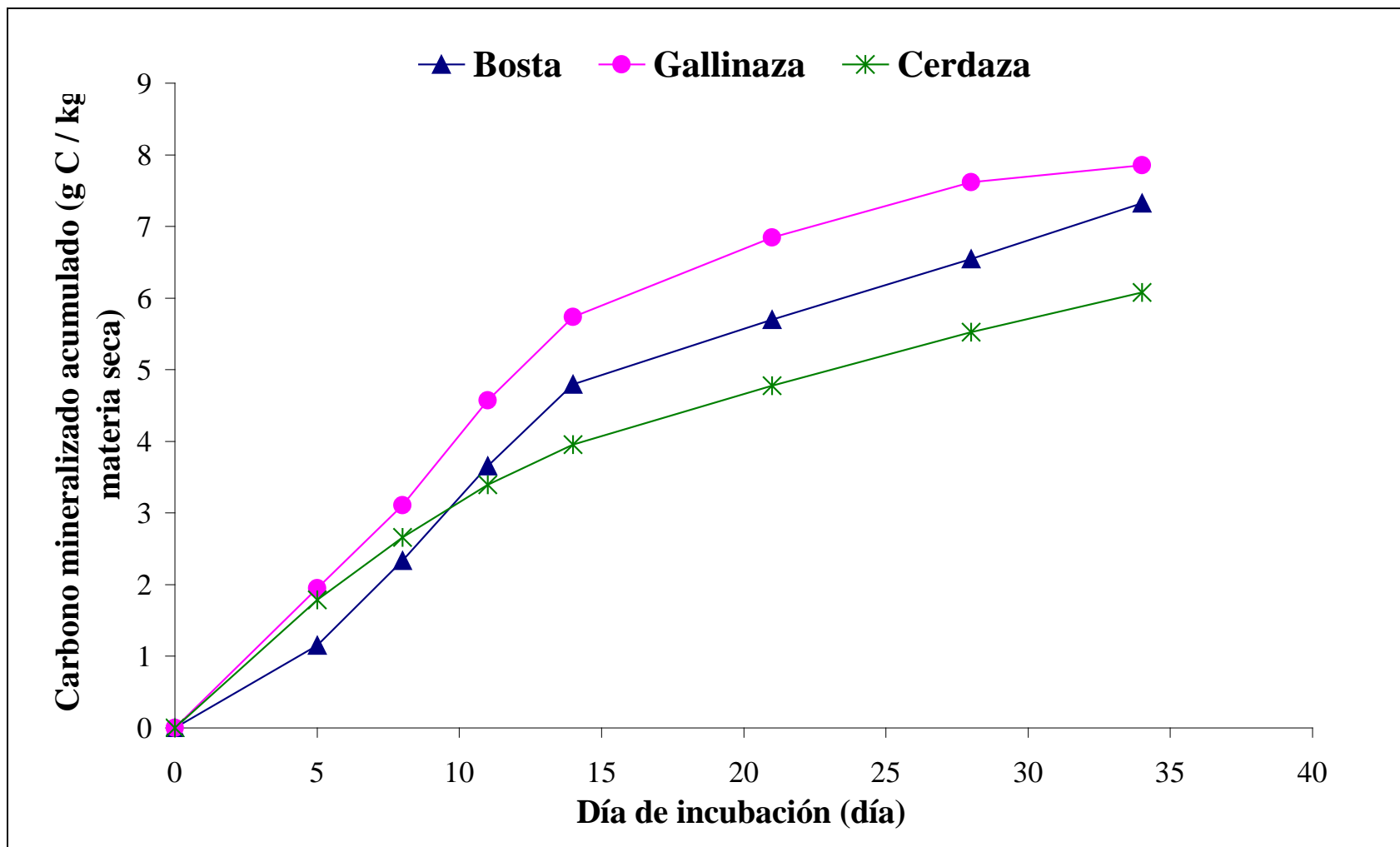


Figura 15. Carbono de la respiración microbiana promedio ($n = 8$) acumulado en el tiempo de incubación del estiércol de vacuno (bosta), de gallina (gallinaza) y de porcino (cerdaza).

Las tasas de mineralización de C en la cerdaza tuvieron, al igual que en la gallinaza, una tendencia a disminuir en el tiempo (Figura 14a). Los valores obtenidos fueron más altos en C-A2 comparados con los de C-A1 durante casi todo el periodo de incubación. La cantidad de C_{min} en C-A1 y C-A2 fue de 5,55 y 6,85 g C . kg⁻¹ de materia seca, respectivamente (Figura 14b).

En general los valores promedios de C_{min} de los tratamientos B-A1 y G-A1 fueron mayores a los observados en el resto de las EA, y los valores de C-A1 y B-A2 fueron los menores. En la Figura 15 se compara el C_{min} de los tres tipos de estiércoles estudiados durante el periodo de incubación. El de la gallinaza fue mayor al observado en el resto de las EA, y el de la cerdaza menor en aproximadamente 20%.

4.3.3.- C potencialmente mineralizable (C₀) y velocidad de mineralización específica (k_C)

Se determinó el potencial que tienen los estiércoles de mineralizar C. En la Tabla 4 se puede observar que la bosta presentó mayor C₀ que el resto de los estiércoles, encontrándose diferencias significativas (P<0,05) entre B-A1 y B-A2, y entre estos y el resto de estiércoles. En cuanto a los valores promedio de k_C (Tabla 4), los mismos siguieron el orden siguiente: B-A2 < B-A1 < C-A2 < G-A2 < G-A1 < C-A1.

Estos valores fueron obtenidos a partir de las curvas de C_{min} en función del tiempo de incubación (figuras 12b, 13b y 14b). Al observar dichas curvas se puede observar que el C_{min}, aunque tiende a agotarse durante la incubación, no alcanza un estado relativamente estacionario al culminar la incubación, sino que continúa con una tendencia ascendente en el tiempo. Esto indica que el tiempo de incubación para las mediciones fue muy corto, ya que a los \cong 35 días la presencia C mineralizable era todavía considerable. Esto pudo traer como consecuencia que los valores de C₀ fueran subestimados y los valores indicados en la Tabla 4 sean menores a los reales y por lo tanto, las fracciones lábiles del C pudieron de igual forma ser subestimadas.

Tabla 4. Carbono potencialmente mineralizable promedio ($n = 4$) con su respectiva velocidad de mineralización específica en estiércol vacuno (B), porcino (C) y de gallina (G)

Tratamientos		C_0 (g . kg ⁻¹ de materia seca)	k_C (día ⁻¹) x 10 ³
B	A1	13,2 ^a (0,9)	37,5 ^c (2,5)
	A2	8,3 ^{bc} (2,8)	39,9 ^{de} (4,9)
G	A1	10,1 ^b (2,3)	57,3 ^{bc} (9,6)
	A2	8,4 ^b (0,7)	62,1 ^{ab} (8,3)
C	A1	6,0 ^c (0,8)	72,1 ^a (5,7)
	A2	8,7 ^b (0,2)	48,6 ^{cd} (8,3)

Nota. Diferentes letras dentro de la misma columna representan diferencias significativas entre los tratamientos a $P < 0,05$. Los resultados expresados entre paréntesis son valores de desviación estándar.

A1: alimentación 1, A2: alimentación 2

4.3.3.- Evolución del N mineral en el tiempo de incubación

El N inorgánico o mineral (NH_4^+ y NO_3^-) inicial (tiempo cero) contenido en las diferentes EA es presentado en la Tabla 5. En general, el contenido de NH_4^+ fue mucho menor en la bosta y mayor en la cerdaza comparado con los otros estiércoles. Se observaron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre G-A1, G-A2, C-A1 y C-A2 y entre estos y la bosta.

Tabla 5. Nitrógeno amoniacal y nítrico promedio ($n = 4$) en estiércol vacuno (B), porcino (C) y de gallina (G)

Tratamientos		Amonio (mg N . kg ⁻¹ de materia seca)	Nitrato
B	A1	394 ^e (81)	200 ^c (8)
	A2	226 ^e (47)	122 ^d (9)
G	A1	1250 ^d (41)	134 ^d (26)
	A2	1480 ^c (289)	400 ^a (19)
C	A1	1897 ^b (160)	143 ^d (20)
	A2	2950 ^a (114)	272 ^b (29)

Nota. Diferentes letras dentro de la misma columna representan diferencias significativas entre los tratamientos a $P < 0,05$. Los resultados expresados entre paréntesis son valores de desviación estándar.

A1: alimentación 1, A2: alimentación 2

Por otra parte, para los valores promedio del contenido de NO_3^- se encontraron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los estiércoles provenientes de animales bajo diferentes dietas (Tabla 5). El efecto de las dietas parece ejercer una importante función, ya que no se observa una tendencia clara y concluyente considerando el tipo de estiércol.

Los contenidos de NH_4^+ y NO_3^- medidos durante el tiempo de incubación de las EA se muestran en las figuras 16, 17 y 18. En estas se pueden observar las cantidades de NH_4^+ y NO_3^- resultantes de los procesos de mineralización e inmovilización llevados a cabo por los microorganismos. Las pendientes positivas en intervalos de la curva indican que el proceso predominante en ese lapso de tiempo fue la mineralización del N orgánico, mientras que pendientes negativas pueden indicar que el proceso predominante es la inmovilización del N mineral, el cual pasa a formar parte del N de la biomasa microbiana (BMN), o puede indicar la pérdida de NH_4^+ por volatilización, en forma de amoníaco (NH_3) gaseoso, en el caso de estar en presencia de un medio alcalino (ver Ec. II.3). En la Figura 19 se compara la evolución del NH_4^+ y el NO_3^- durante el periodo de incubación en los tres tipos de estiércoles estudiados.

Según las curvas de evolución del N mineral, en la primera semana predominó la mineralización del N orgánico, lo que se aprecia tanto por el incremento de la concentración de iones NH_4^+ como de iones NO_3^- , con excepción del NH_4^+ del tratamiento B-A1, el cual disminuyó (Figura 16a). En la segunda semana se observa un cambio de pendiente abrupto indicando una rápida disminución tanto del NH_4^+ como del NO_3^- en las EA, lo que a la vez pudiera indicar, como ya se señaló, predominio del proceso de inmovilización del N mineral sobre el de mineralización y/o pérdida del NH_4^+ en forma NH_3 . Las concentraciones de ambos iones disminuyeron o permanecieron relativamente constantes en el transcurso de las semanas restantes, con excepción de algunos casos en los cuales aumentaron levemente.

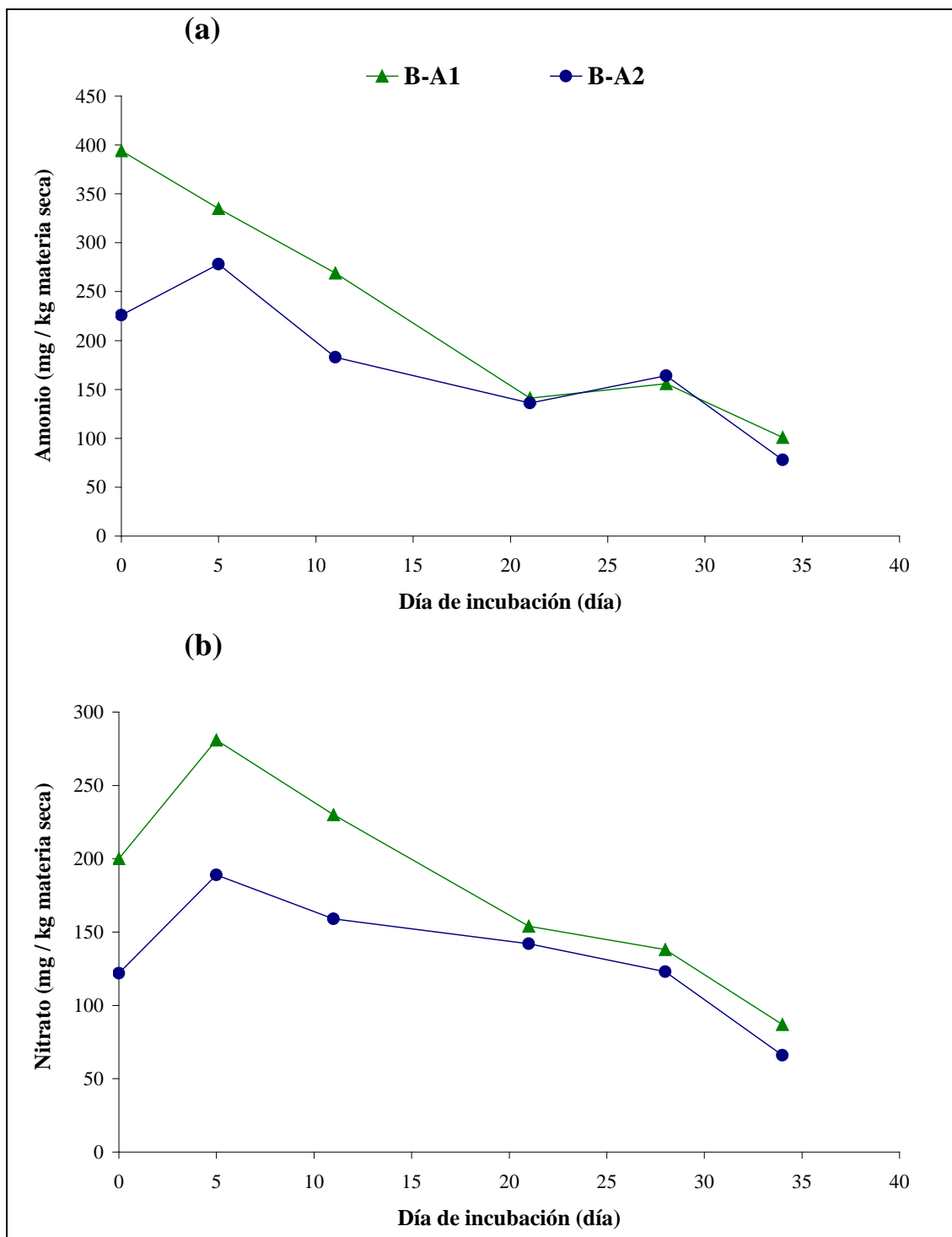


Figura 16. Amonio (a) y nitrato (b) promedio ($n = 4$) medido durante la incubación del estiércol de vacuno (bosta) proveniente de animales bajo dos regimenes alimenticios distintos.

B-A1: bosta proveniente de animales bajo Alimentación 1

B-A2: bosta proveniente de animales bajo Alimentación 2

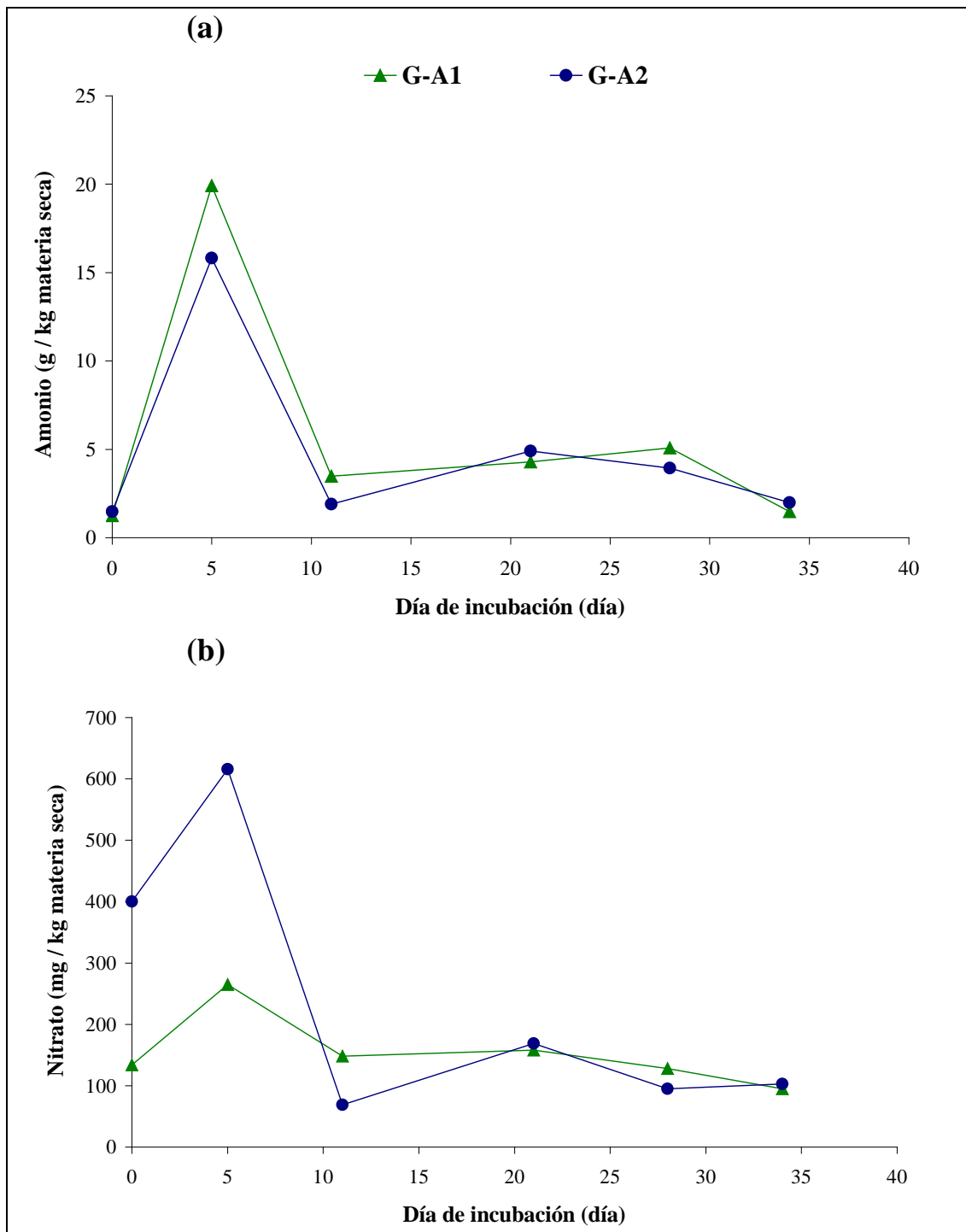


Figura 17. Amonio (a) y nitrato (b) promedio ($n = 4$) medido durante la incubación del estiércol de gallina (gallinaza) proveniente de animales bajo dos regimenes alimenticios distintos.

G-A1: gallinaza proveniente de animales bajo Alimentación 1
G-A2: gallinaza proveniente de animales bajo Alimentación 2

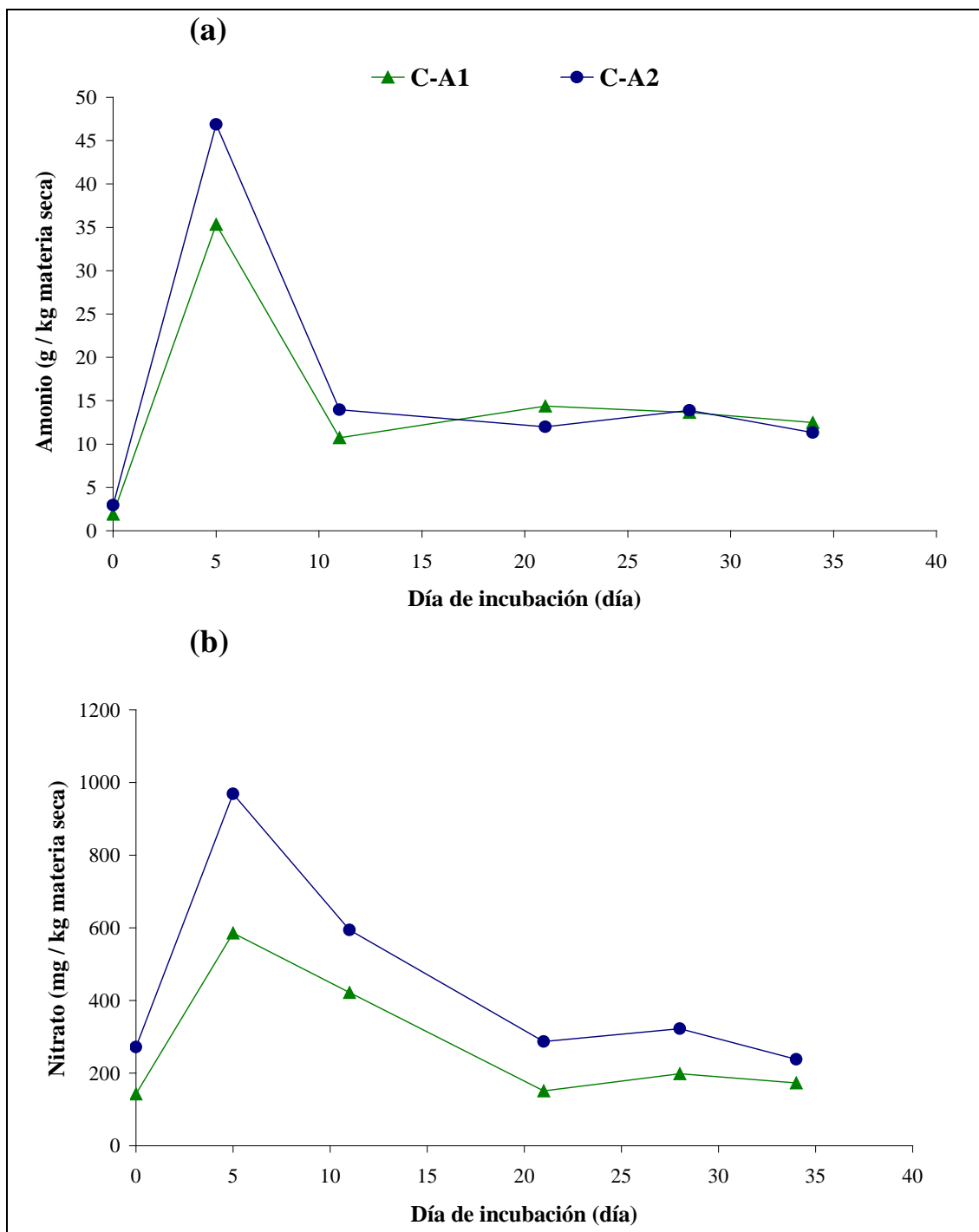


Figura 18. Amonio (a) y nitrato (b) promedio ($n = 4$) medido durante la incubación del estiércol de porcino (cerdaza) proveniente de animales bajo dos regimenes alimenticios distintos.

C-A1: cerdaza proveniente de animales bajo Alimentación 1

C-A2: cerdaza proveniente de animales bajo Alimentación 2

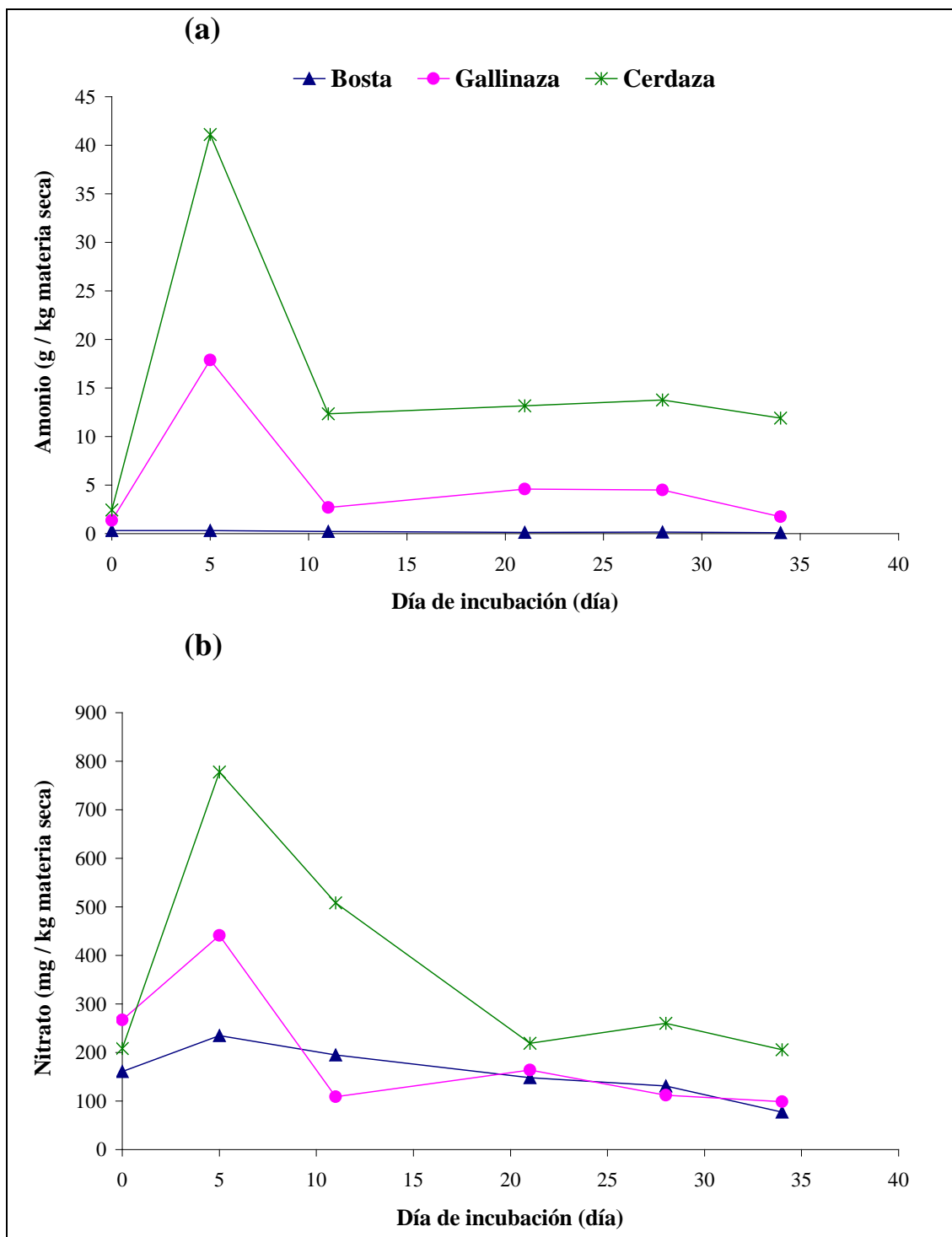


Figura 19. Amonio (a) y nitrato (b) promedio ($n = 8$) medido durante la incubación del estiércol de vacuno (bosta), estiércol de gallina (gallinaza) y estiércol de porcino (cerdaza).

Al final del tiempo de incubación el NO_3^- medido para cada uno de los tratamientos fue menor que el inicial, resultando en inmovilización neta del NO_3^- . Lo mismo ocurre para el caso del NH_4^+ de la bosta, sin embargo, como se señaló, el pH de la bosta resultó ser bastante alcalino (Tabla 3), condición que estimula las pérdidas de N en forma de NH_3 (Kimani & Lekasi, 2004; Capulín *et al.*, 2001). Con respecto al NH_4^+ de la gallinaza y la cerdaza, ocurrió una mineralización neta con respecto al NH_4^+ inicial, resultando esta considerablemente mayor en la cerdaza.

No fue posible determinar el N potencialmente mineralizable (N_0) para los tratamientos estudiados mediante la Ec. 3.3, ya que la metodología empleada para determinar la evolución del N en el tiempo no cuantificó las pérdidas del N mineral por inmovilización o en forma de NH_3 , y debido a que estos procesos predominaron sobre la mineralización del N orgánico en todos los tratamientos durante el transcurso del ensayo, con excepción de la primera semana como ya se indicó, no fue posible elaborar la curva del N mineralizado acumulado (N_{min}) en función del tiempo de incubación y por lo tanto tampoco calcular N_0 ni su tasa de mineralización específica (k_N), mediante el ajuste de dicha curva a la ecuación señalada. De igual forma, no se pudo calcular el N mineralizable no microbiano (NMNM) a partir del N_0 .

Una elevada inmovilización del N en las EA pudo ser causada por un alto contenido de compuestos orgánicos nitrogenados hidrosolubles en las mismas, los cuales incluyen una fracción importante de aminoácidos que pudieron ser asimilados directamente por la BM (Beloso, 1991). Para determinar en cuanto contribuyó la inmovilización del N mineral a la disminución del N mineral durante la incubación, con respecto a las pérdidas en forma de NH_3 , hubiese sido sumamente útil la medición del N de la biomasa microbiana (BMN) durante y al final del periodo de incubación, ya que el proceso de inmovilización implica la transformación del N, de mineral a orgánico por acción de los microorganismos, los cuales lo incorporan a su biomasa a través de procesos mediados por enzimas (Calderón *et al.*, 2005).

Los resultados obtenidos de la evolución del NH_4^+ en los diferentes tratamientos son análogos a los reportados por Calderón *et al.* (2005), quienes en un ensayo de laboratorio midieron por separado la evolución del NH_4^+ de un estiércol de



ganado vacuno y el suelo circundante donde fue añadido y obtuvieron una disminución continua del NH_4^+ del estiércol durante todo el transcurso de incubación de 10 semanas. En el suelo circundante observaron el mismo comportamiento con excepción de la primera semana en la que el NH_4^+ aumentó considerablemente. Hadas & Portnoy (citados en Calderón *et al.*, 2005) encontraron que sólo incubaciones de más de 10 semanas de suelo abonado con estiércol resultaron en valores positivos de mineralización del N.

4.3.4.- Biomasa microbiana

Los resultados promedio del C de la biomasa microbiana (BMC) determinados para los diferentes tratamientos se presentan en la Tabla 6. Estos valores oscilan entre 6,50 y 3,59 g C . kg⁻¹ de materia seca. Según el análisis estadístico existen diferencias significativas (P<0,05) entre los valores de BMC de los tratamientos B-A1 y C-A2 respecto a los tratamientos restantes.

Tabla 6. Carbono y nitrógeno de la biomasa microbiana promedios ($n = 4$) en estiércol vacuno (B), porcino (C) y de gallina (G)

Tratamientos		BMN (g N . kg ⁻¹ de materia seca)	BMC (g C . kg ⁻¹ de materia seca)
B	A1	1,13 ^c (0,24)	5,45 ^a (0,19)
	A2	0,87 ^c (0,39)	3,87 ^b (0,89)
G	A1	0,85 ^c (0,14)	4,46 ^b (1,17)
	A2	0,92 ^c (0,18)	4,19 ^b (0,67)
C	A1	2,51 ^b (0,50)	3,59 ^b (0,21)
	A2	3,61 ^a (0,41)	6,50 ^a (0,64)

Nota. Diferentes letras dentro de la misma columna representan diferencias significativas entre los tratamientos a P<0,05. Los resultados expresados entre paréntesis son valores de desviación estándar.

A1: alimentación 1, A2: alimentación 2

Con respecto a la BMN, sólo se observaron diferencias significativas (P<0,05) entre U C-A1 y C-A2, al compararlos entre sí y con el resto de las EA. Los valores promedio de BMN fueron mayores en las cerdazas y menor en G-A1. En la cerdaza y la gallinaza el mayor valor se registró para la A2, y en la bosta para la A1 (Tabla 6).

4.3.5.- N y C orgánico total

Los valores promedio de NOT presentaron el siguiente orden decreciente en los tratamientos: C-A1 > G-A1 > C-A2 > G-A2 > B-A1 > B-A2, como se puede observar en la Tabla 7. No obstante, la diferencia encontrada entre C-A1 y G-A1 no fue significativa ($P < 0,05$), al igual que la diferencia encontrada entre las bostas evaluadas. El NOT promedio de la bosta fue ~38% menor al de la cerdaza y la gallinaza. En cuanto a los valores promedio de COT, estos presentaron el siguiente orden decreciente en los tratamientos: B-A1 > G-A1 > B-A2 > G-A2 > C-A1 > C-A2, (Tabla 7). Sin embargo, la diferencia encontrada entre B-A1, G-A1 y B-A2 no fue significativa ($P < 0,05$).

Tabla 7. Carbono y nitrógeno orgánico total y relación C/N promedios ($n = 4$) en estiércol vacuno (B), porcino (C) y de gallina (G)

Tratamientos		NOT (g . kg ⁻¹ de materia seca)	COT	C/N
B	A1	16,5 ^d (1,1)	425 ^a (44)	25,7 ^a (1,2)
	A2	14,6 ^d (0,8)	390 ^a (27)	26,8 ^a (1,4)
G	A1	27,9 ^a (3,2)	415 ^a (21)	15,1 ^b (2,3)
	A2	20,4 ^c (1,6)	320 ^b (22)	15,8 ^b (1,3)
C	A1	28,2 ^a (0,6)	250 ^c (11)	8,9 ^c (0,5)
	A2	24,5 ^b (1,4)	150 ^d (23)	6,1 ^d (0,9)

Nota. Diferentes letras dentro de la misma columna representan diferencias significativas entre los tratamientos a $P < 0,05$. Los resultados expresados entre paréntesis son valores de desviación estándar.

A1: alimentación 1, A2: alimentación 2

Trinidad (1987) estimó valores de aproximadamente 490 g . kg⁻¹ en base seca de COT en estiércol vacuno y gallinaza, cercanos a los observados en B y G. Andrioli *et al.* (2000) y Marcano *et al.* (2003) reportaron valores menores para estiércol vacuno de aproximadamente 190 g . kg⁻¹ en base seca, mientras que Contreras *et al.* (2004) reportaron valores para gallinaza (260 g . kg⁻¹ en base seca) menores a los reportados en este estudio.

Las diferentes fracciones de C presentes en cada uno de los tratamientos son mostradas en la Tabla 8. El mayor porcentaje de C lábil, dado por el BMC y el CMNM (C mineralizable no microbiano) se observó en B-A1 y C-A2. Las fracciones

activas de la MO contribuyen a incrementar la cantidad de nutrientes disponibles para las plantas, mientras que una mayor proporción de fracciones estables de la materia orgánica podría resultar en una mayor conservación de los nutrientes (Rice & García, 1994).

Tabla 8. Fracciones del carbono orgánico total promedios ($n = 4$) en estiércol vacuno (B), porcino (C) y de gallina (G)

Tratamientos		BMC	CMNM (%)	CE
B	A1	1,29 ^{bc} (0,11)	1,86 ^a (0,38)	96,85 ^b (0,48)
	A2	0,98 ^c (0,16)	1,12 ^{bc} (0,40)	97,89 ^a (0,55)
G	A1	1,07 ^{bc} (0,24)	1,36 ^{abc} (0,29)	97,57 ^{ab} (0,48)
	A2	1,32 ^{bc} (0,28)	1,33 ^{abc} (0,16)	97,35 ^{ab} (0,38)
C	A1	1,44 ^b (0,15)	0,96 ^c (0,28)	97,60 ^{ab} (0,41)
	A2	4,37 ^a (0,47)	1,57 ^{ab} (0,69)	94,06 ^c (0,96)

Nota. Los resultados expresados entre paréntesis son valores de desviación estándar. A1: alimentación 1, A2: alimentación 2

4.3.6.- Relación C/N

En la Tabla 7 se presentan los valores promedio de la relación C/N en las EA. Los resultados obtenidos para la bosta fueron significativamente ($P < 0,05$) mayores de los obtenidos para las otras EA, mientras que los obtenidos para la cerdaza fueron significativamente menores. Sólo se encontraron diferencias significativas ($P < 0,05$) dadas por la dieta entre los cerdazas.

Calderón *et al.* (2005) y Trinidad (1987) encontraron relaciones C/N en estiércol vacuno de 19 y 16, respectivamente, valores menores a los obtenidos para B-A1 y B-A2, sin embargo, el valor de 15 que encontró Trinidad (1987) para la gallinaza fue igual al calculado para G-A1 y G-A2.

La alta relación C/N obtenida para la bosta es producto del bajo contenido de N que poseía este estiércol, el cual debido al pH altamente alcalino posiblemente se perdió en cierta cantidad en forma de gases de NH_3 (Capulín *et al.*, 2001, Kimani & Lekasi, 2004). Teóricamente, con valores altos de C/N la velocidad de desintegración de la MO es baja y por lo tanto la liberación de nutrientes al medio es baja. Esto

coincide con lo observado en el Cmin de B-A2, ya que la dieta de pasto consumida por el ganado de pastoreo era rica en pared celular y por consiguiente lo fueron también sus excretas. En las EA los microorganismos descomponedores consumen con relativa facilidad algunas sustancias como proteínas y almidones, mientras que la lignina, la hemicelulosa y la celulosa de la pared celular, es atacada lentamente (Marcano *et al.*, 1993).

La mayor relación C/N de la bosta, respecto al resto de las EA, pudo ocasionar de igual forma el predominio del proceso de inmovilización sobre el de mineralización en la medición de la evolución del N mineral durante la incubación.

4.4.- EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS DE LOS ESTIÉRCOLES

Los parámetros considerados para evaluar la calidad biológica de las EA fueron la abundancia de hongos, bacterias, coliformes totales y coliformes fecales. En las figuras enumeradas desde 20 hasta 23 se muestran los valores promedio obtenidos de estas variables para cada tratamiento.

4.4.1.- Bacterias y hongos

Los valores promedios de contenido de bacterias totales estuvieron en el orden de $5,85 \times 10^8$ a $1,77 \times 10^{10}$ UFC.g⁻¹ de materia seca. No se encontró un efecto significativo ($P < 0,05$) de las dietas sobre el número bacterias encontradas en las EA estudiadas (Figura 20). Los valores de bacterias totales siguen el orden siguiente en los tratamientos: B-A1 > B-A2 > G-A1 > G-A2 > C-A2 > C-A1.

Se pudo observar que los valores promedio tanto de abundancia de bacterias como de respiración fueron significativamente ($P < 0,05$) mayores en B-A1 y menores en C-A1, a pesar de que la medición del CO₂ liberado por la respiración de los microorganismos considera a grupos microbianos adicionales a las bacterias. En el caso de la abundancia promedio de hongos totales, la misma varió entre $2,17 \times 10^5$ y $5,13 \times 10^6$ UFC.g⁻¹ de materia seca (Figura 21) y fue significativamente ($P < 0,05$) mayor en la gallinaza en comparación con el resto de las EA.

No se observó un patrón de comportamiento similar de contenido de bacterias y hongos totales en los tratamientos. La abundancia de bacterias fue mayor a la de hongos lo cual se pudo observar más marcadamente en el estiércol vacuno, el cual presentó mayor abundancia de bacterias pero menor abundancia de hongos que el resto de las EA. Esta mayor abundancia de bacterias posiblemente se deba al hecho de que los vacunos son animales rumiantes y una cantidad considerable de bacterias del rumen pasan a formar parte de las excretas (Church y Pond, 1996). Por otra parte, la relativamente baja presencia de hongos puede relacionarse con la escasa representación de estos en la comunidad microbiana del rumen (Atlas y Bartha, 2006).

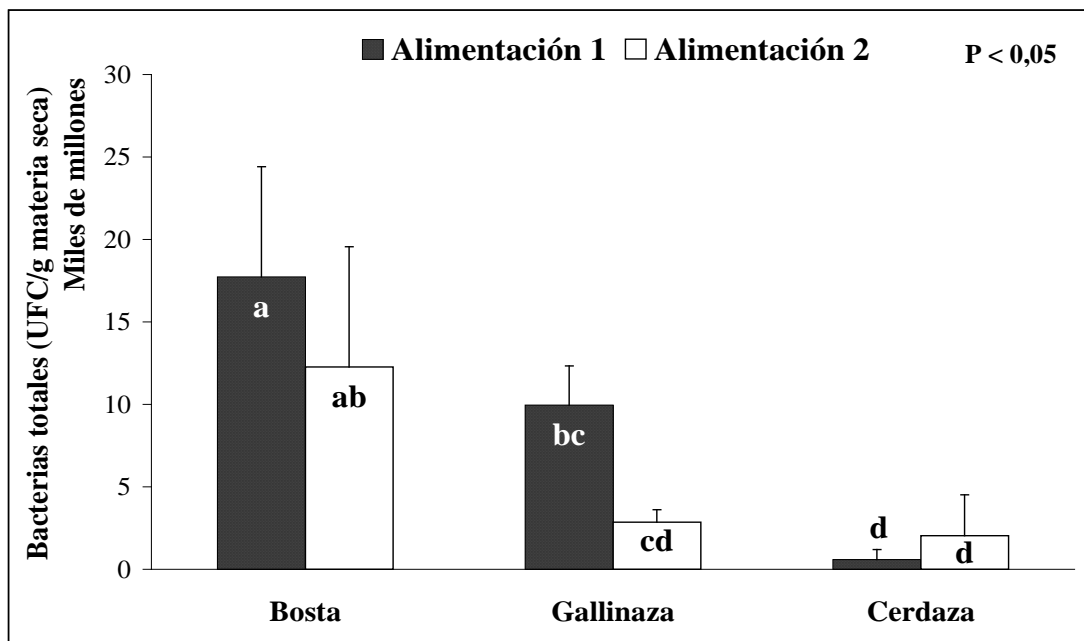


Figura 20. Bacterias totales promedio ($n = 4$) en estiércol de vacuno (bosta), estiércol de gallina (gallinaza) y estiércol de porcino (cerdaza). Diferentes letras representan diferencias significativas entre los tratamientos a $P < 0,05$. Las barras de error son valores de desviación estándar.

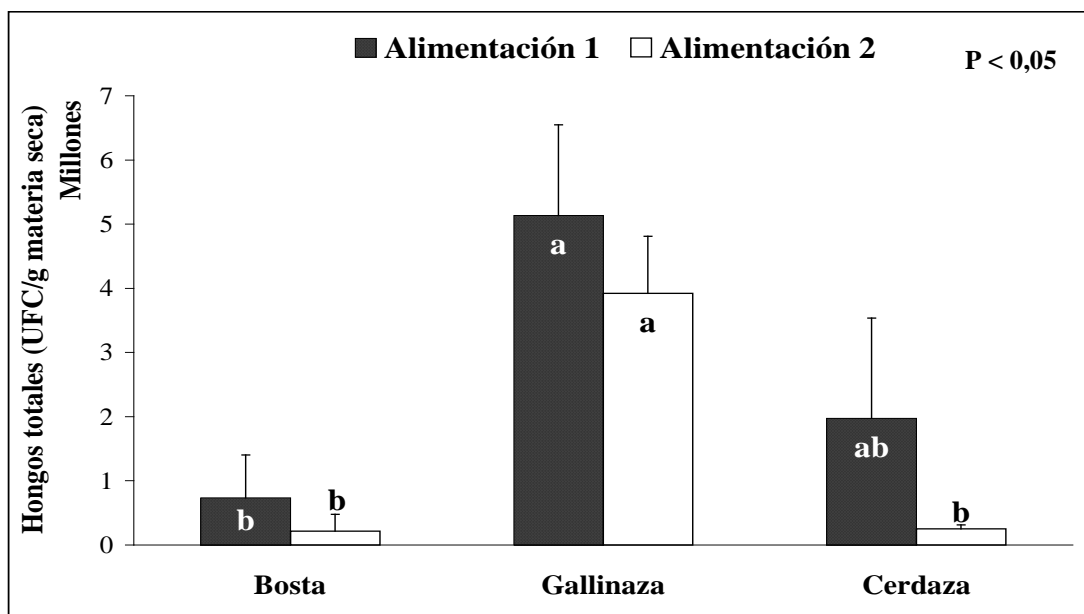


Figura 21. Hongos totales promedio ($n = 4$) en estiércol de vacuno (bosta), estiércol de gallina (gallinaza) y estiércol de porcino (cerdaza). Diferentes letras representan diferencias significativas entre los tratamientos a $P < 0,05$. Las barras de error son valores de desviación estándar.

4.4.2.- Abundancia de coliformes totales y fecales

La abundancia promedio de coliformes estuvo comprendida entre valores de $3,23 \times 10^6$ y $8,89 \times 10^7$, y entre $2,33 \times 10^6$ y $7,96 \times 10^7$ NMP.g⁻¹ en base seca, de coliformes totales y fecales, respectivamente (Figuras 22 y 23). Estas abundancias fueron mayores en la cerdaza, sobre todo en C-A2, el cual fue el único tratamiento que presentó diferencias significativas ($P < 0,05$) respecto al resto en cuanto a coliformes fecales.

La mayor abundancia de coliformes encontrada en la cerdaza podría ser explicada tomando en cuenta el tipo de sistema de producción o explotación a la cual se encontraban sujetos los animales. Con respecto a C-A1, el cobre (Cu) es incorporado en la dieta como aditivo en la producción porcícola intensiva y tal como lo indicó Rodríguez (2002), la incorporación de sales de Cu en la alimentación del cerdo genera un incremento de coliformes en la microflora intestinal.

En cuanto a C-A2, proveniente de un sistema de producción tradicional, las condiciones sanitarias del criadero eran limitantes en comparación con las

condiciones que generalmente se pueden encontrar en un sistema intensivo. En la granja donde se recolectó C-A2 se pudo observar la presencia de restos de excretas en avanzado estado de descomposición en contacto con las frescas en el piso del criadero, lo que pudo haber ocasionado cargas estables de coliformes totales y fecales en las excretas recolectadas para este estudio (Rodríguez, 2002). Oliva *et al.* (2004) reportó un contenido de coliformes fecales en cerdaza de $1,05 \times 10^7$ NMP.g⁻¹ de materia seca. El valor promedio medido en C-A1 ($2,11 \times 10^7$ NMP.g⁻¹ de materia seca) es el doble del reportado por dichos autores.

Por otra parte, el contenido promedio de coliformes fecales medido en la gallinaza fue de aproximadamente $5,99 \times 10^6$ NMP.g⁻¹ de materia seca, valor mucho menor al reportado por Palacios (2005) de $3,5 \times 10^8$ NMP.g⁻¹ de materia seca.

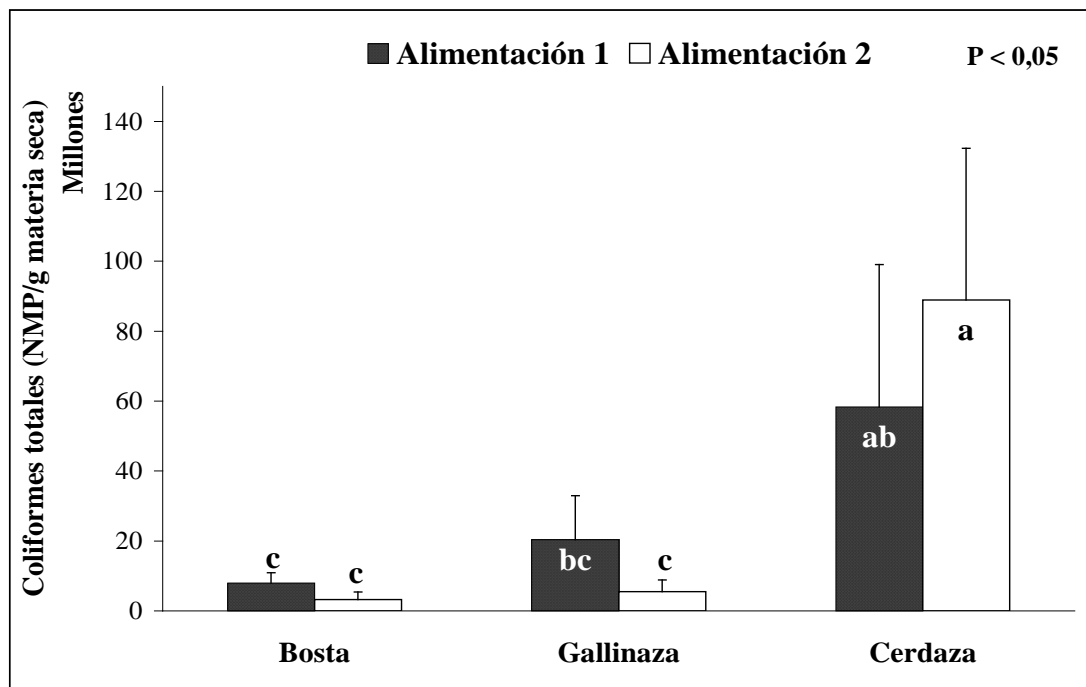


Figura 22. Coliformes totales promedio ($n = 4$) en estiércol de vacuno (bosta), estiércol de gallina (gallinaza) y estiércol de porcino (cerdaza). Diferentes letras representan diferencias significativas entre los tratamientos a $P < 0,05$. Las barras de error son valores de desviación estándar.

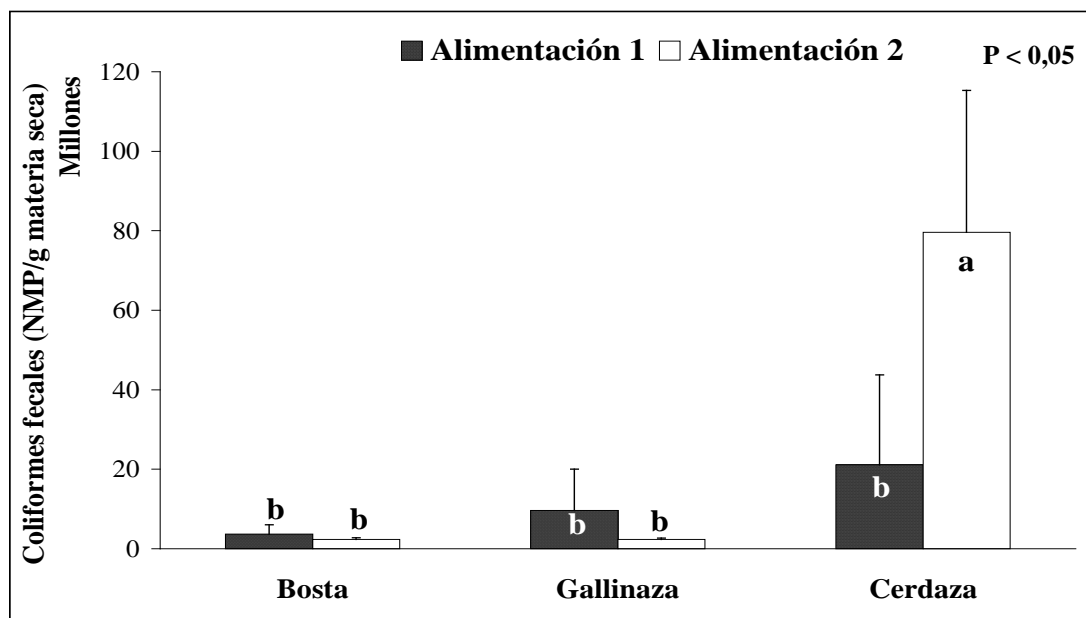


Figura 23. Coliformes fecales promedio ($n = 4$) en estiércol de vacuno (bosta), estiércol de gallina (gallinaza) y estiércol de porcino (cerdaza). Diferentes letras representan diferencias significativas entre los tratamientos a $P < 0,05$. Las barras de error son valores de desviación estándar.

4.5.- DETERMINACIÓN DE LAS RELACIONES ENTRE EL TIPO DE DIETA DEL ANIMAL Y LA CALIDAD COMO FERTILIZANTE DEL ESTIÉRCOL QUE PRODUCE

Dado que la calidad del estiércol depende del uso que se le quiera dar, se tomaron en cuenta las variables usualmente utilizadas para determinar la calidad de las EA. A continuación se indican algunas especificaciones generales correspondientes a compost, lodos y otros residuos destinados a uso agrícola, referidas a parámetros que definen su calidad, las cuales pueden servir como referencia para evaluar comparativamente los resultados de la caracterización de las EA en estudio, a pesar que estas no fueron tratadas o compostadas previamente.

4.5.1.- Calidad química

En cuanto a las propiedades químicas, en la bibliografía se especifican algunos niveles aceptables y algunos niveles óptimos del contenido de elementos nutritivos para las plantas y otros parámetros para residuos a ser utilizados en

aplicaciones agrícolas (Tabla 9). Respecto a esto, la normativa española también ha clasificado los valores (bajo, medio y alto) para algunos parámetros en los abonos orgánicos, dichos intervalos se indican en la Tabla 10.

Tabla 9. Niveles aceptables y óptimos de parámetros de residuos a ser utilizados en aplicaciones agrícolas

Parámetro	Niveles aceptables	Niveles óptimos	Fuente
N (g.kg ⁻¹)	≥ 10	> 20	(1) y (2)
P (g.kg ⁻¹)	1,5 - 20	≥ 10	(1) y (2)
K (g.kg ⁻¹)		≥ 10	(2)
Ca (g.kg ⁻¹)	> 6		(3)
Mg (g.kg ⁻¹)		5,7	(3)
Fe (mg.kg ⁻¹)		7500	(3)
Mn (mg.kg ⁻¹)		414	(3)
C/N (g.g ⁻¹)	< 30	< 20	(1), (3) y (5)
Humedad (g.g ⁻¹)	< 0,4	< 0,2	(1) y (3)
pH (adim.)	5,5 - 9,0	6,5 - 8,0	(1), (3) y (4)

Nota. (1): Soto y Meléndez (2004); (2): NTC 5167 (2004); (3): J. Guerrero y Monsalve (2007); (4): Ministerio de Comercio e Industrias de Panamá (2000); (5): Muñoz (2001).

Tabla 10. Clasificación de los valores de diferentes parámetros en compost según normativa española

Parámetro	Bajo	Medio	Alto
N (g.kg ⁻¹)	5 - 15	15 - 30	30
P (g.kg ⁻¹)	5 - 10	10 - 20	20
K (g.kg ⁻¹)	0,2 - 1,5	1,5 - 3	3
Ca (g.kg ⁻¹)	6 - 15	15 - 35	35
Mg (g.kg ⁻¹)	1 - 2,5	2,5 - 4	4
S (g.kg ⁻¹)	5 - 10	10 - 15	15
Fe (mg.kg ⁻¹)	1000 - 8000	8000 - 15000	15000
Mn (mg.kg ⁻¹)	20-150	150-400	400
CE (dS.m ⁻¹)	0-1	1-2	2

Nota. Fuente: Costa *et al.* (1991).

Según los valores señalados en las dos tablas anteriores, los contenidos de N, P, K, Mg, Ca y S en la gallinaza y en la cerdaza son óptimos o altos, mientras que en la bosta no entran dentro del rango o son muy bajos. Sin embargo el contenido de N de la bosta entra dentro del rango medio de la normativa española (Tabla 10). En cuanto a los contenidos de Fe y Mn en las EA, todos son muy bajos o no entran dentro del rango estipulado, con excepción del contenido de Mn de la gallinaza, el cual es óptimo.

El pH de la cerdaza es óptimo para su utilización como abono para las plantas, el de G-A1 entra dentro del rango aceptable y el de G-A2 y la bosta no entran dentro del rango por ser muy altos, pero quizás sería un pH conveniente para la fertilización en suelos tropicales donde hay predominio de suelos ácidos. En cuanto a la CE, sólo los valores de la bosta entran del rango medio indicado en la Tabla 10, ya que valores tan altos como los encontrados en la gallinaza y la cerdaza pueden convertirse en un problema si se realiza una aplicación excesiva de dichas EA para la fertilización, debido a que la acumulación de sales en las capas superiores del suelo puede dificultar o impedir el crecimiento de las plantas cuando el drenaje es pobre. En cuanto al contenido de humedad, resultó muy alto en todas de las EA para entrar dentro del rango señalado en la Tabla 9.

Por otra parte, existen normas a nivel internacional que establecen las concentraciones límites permitidas de metales pesados en los residuos a utilizar como fertilizantes debido al escaso margen entre niveles de suficiencia y exceso para los cultivos. Metales como el Cu y el Zn pueden representar un riesgo de contaminación al ambiente y ser tóxicos para los vegetales y los animales cuando son absorbidos por encima de determinados niveles. En la Tabla 11 se muestran las concentraciones máximas de Cu y Zn permitidas en varios países. Las EA en estudio cumplen con estos límites máximos a excepción de C-A1, cuyo contenido de Cu es muy alto.

Tabla 11. Contenido de metales pesados permitidos a nivel internacional en residuos a ser utilizados en aplicaciones agrícolas

Metal	Rango de la Unión	Nivel máximo en	Nivel máximo en
	Europea	EE.UU.	Panamá
Cu (mg.kg ⁻¹)	70 – 600	1500	1500
Zn (mg.kg ⁻¹)	210 – 4000	2800	3000

Nota. Fuente: Ministerio de Comercio e Industrias de Panamá (2000) y Soto y Meléndez (2004).

En general, la gallinaza posee una alta calidad química para su utilización en aplicaciones agrícolas, ya que sus propiedades cumplen con los valores estipulados para abonos orgánicos, con excepción del alto contenido de humedad de las EA frescas, que hace considerar un secado previo antes de su utilización como abono. La calidad química de la cerdaza es igualmente alta, sin embargo la alta concentración de Cu que presentó C-A1 no es apropiada para usos agrícolas debido a la acumulación de este elemento en la capa arable dada su escasa movilidad (Rodríguez, 2002).

Aunque los contenidos de macro y microelementos medidos en la bosta son inferiores a los valores mínimos especificados, esto no limita estrictamente su uso como fertilizante, ya que la denominación de un material como fertilizante implica, según la definición dada por R. Guerrero (2001), que dicho material aporte a las plantas “uno o más” de los nutrientes requeridos por éstas. En este orden de ideas, se puede afirmar que la bosta se clasifica como fertilizante.

Según los resultados obtenidos de composición química de las EA, se puede corroborar que los animales alimentados con dietas de alta calidad nutricional para los animales, producen estiércoles de alta calidad nutricional para las plantas al emplearlos como abono. Las dietas de alta calidad, como las suministradas a las gallinas y a los porcinos, incluyen desde los alimentos concentrados y suplementos minerales a legumbres ricas en N (Kimani & Lekasi, 2004). Por el contrario, una dieta rica en pasto, como la suministrada a los bovinos, puede ser de baja calidad ya que el pasto es rico en lignina, hemicelulosa y celulosa, e inferior a los concentrados proteicos en cuanto a contenido de N (Atlas y Bartha, 2006); y una dieta deficiente en



uno o varios nutrientes conlleva a que el estiércol que produce el animal sea de igual forma deficiente en dichos nutrientes.

Por lo tanto, un estiércol de alta calidad generalmente será producto de los sistemas de producción intensivos, los cuales se encuentran generalmente asociadas con granjas con ingresos de medios a altos que pueden realizar una inversión mayor en la alimentación de los animales. En contraste, los sistemas tradicionales o extensivos donde se les proporciona a los animales una alimentación de bajo nivel (es decir, de mantenimiento) como, por ejemplo, las unidades donde se practica el pastoreo del ganado, producirán estiércoles de menor calidad.

Un posible aspecto negativo de las EA procedentes de sistemas intensivos, es el que se pudo constatar al medir la concentración de Cu de CA-1, referente a los excesos de metales pesados y los efectos indeseados que generan al aplicarlos repetidamente a lo largo del tiempo indicados por Abad (1998) y Rodríguez (2002). Debido a que la excreción fecal corresponde a la porción de un elemento contenido en el alimento que no es retenido por el animal y a que prácticamente la totalidad del Cu ingerido es eliminado (Rodríguez, 2002), en los estiércoles porcinos provenientes de sistemas intensivos se pueden esperar altos niveles del Cu empleado como aditivo en la producción porcícola.

4.5.2.- Calidad biológica

Para conocer la influencia del contenido microbiano de los estiércoles sobre la calidad como abono, es importante determinar la abundancia de diversos grupos o tipos de bacterias y hongos patógenos e igualmente la presencia de aquellos microorganismos beneficiosos para los cultivos y el suelo. En este estudio sólo se estudió el contenido de bacterias y hongos totales, y en cuanto a grupos patógenos, el contenido de coliformes totales y fecales.

El contenido microbiano (bacterias y hongos) de las EA es determinante en la valoración de la calidad. Se ha demostrado que la calidad del residuo a utilizar como fertilizante es baja cuando contiene mayor carga microbiana, como es el caso de la bosta. Esto se debe a que los microorganismos inmovilizan y ayudan a retener el N en el suelo y como consecuencia disminuye la eficiencia de asimilación de este elemento

por las plantas (Oliva *et al.*, 2004). Además, las superficies aéreas de las plantas pueden constituirse en el hábitat de microorganismos oportunistas como muchos tipos de virus, bacterias y hongos que les causan enfermedades (Atlas y Bartha, 2006).

Para compost, EPA (1993) estipula que solo los productos que cumplen con los límites de patógenos clase A (coliformes fecales $< 1000 \text{ NMP.g}^{-1}$) pueden ser distribuidos o vendidos al público en general para ser usados sin ninguna restricción (cultivos de consumo directo). Los que califican como clase B (coliformes fecales $< 2 \times 10^6 \text{ NMP.g}^{-1}$) son restringidos a suelos en sitios remotos con prácticas adecuadas de manejo y restricciones de acceso al público para ser usados en recuperación de suelos, plantaciones forestales, cultivos que no se consuman directamente o cobertura de rellenos sanitarios. En Panamá está reglamentado que el contenido de coliformes fecales en residuos a ser utilizados en aplicaciones agrícolas sea de menos de 2000 NMP.g^{-1} (Ministerio de Comercio e Industrias de Panamá, 2000).

El contenido de coliformes fecales determinado en todas las EA fue superior a los máximos permitidos según las especificaciones ya indicadas. La aplicación las EA frescas como fertilizante traería como consecuencia la contaminación biológica de los cultivos, el suelo y el ambiente animal y humano en general, lo que hace considerar pasarlas por un tratamiento previo que reduzca el contenido de coliformes de las mismas antes de su utilización como abono, sobre todo a la cerdaza. Se ha demostrado que el compostaje de las EA es un método efectivo para eliminar bacterias coliformes fecales, así como para disminuir la sobrevivencia de hongos y bacterias (Oliva *et al.*, 2004).

4.5.3.- Calidad bioquímica

Según los resultados obtenidos en la incubación de las EA, referentes a la evolución del N mineral, si se emplean como abonos, sin pasar antes por un proceso de maduración previo, se puede esperar que su aplicación al suelo provocaría una liberación inicial de N mineral al suelo circundante y posteriormente el predominio del proceso de inmovilización del N mineral del suelo por parte de los microorganismos. Sin embargo, se puede esperar mineralización neta del N de las EA. Se ha observado en diversos ensayos de campo donde el suelo es abonado con



estiércol que dicha aplicación es seguida por un periodo relativamente corto donde ocurre la mineralización de la fracción lábil de la MO y luego por un extenso periodo en que la inmovilización limita la disponibilidad del N (Kirchmann & Lundvall, 1993; Paul & Beauchamp, 1994).

Lo predicho anteriormente también se encuentra sustentado por la relación C/N de los estiércoles, por la cual se puede prever mineralización neta en las EA ($C/N < 30$). Según las especificaciones para residuos a ser utilizados en aplicaciones agrícolas mostradas en la Tabla 9, la relación C/N de la gallinaza y la cerdaza es óptima y la de la bosta entra dentro del rango aceptable.

Al comparar los valores de C mineralizado con los contenidos de COT de las EA, se observó un comportamiento similar en cuanto a que son mayores en la gallinaza y la bosta mientras que son menores en la cerdaza, lo que indica que el COT condiciona en gran medida la actividad de la fracción biológica, debido a que proporciona la materia prima (hidratos de carbono) para los microorganismos lleven a cabo el proceso de respiración y por lo tanto la liberación de CO_2 . Generalmente una alta actividad biológica (respiración) en las EA aplicadas como fertilizante repercute en el mejoramiento de la estructura del suelo por efecto de la agregación que los productos de la descomposición ejercen sobre las partículas del suelo; las condiciones de fertilidad aumentan lo cual hace que el suelo tenga la capacidad de sostener un cultivo rentable. Además, dicha actividad biológica juega un papel importante en la disponibilidad de nutrimentos por medio de la oxidación y reducción de los elementos esenciales, convirtiéndolos de formas no aprovechables a formas aprovechables por las plantas (Trinidad, 1987).

El mayor contenido de C lábil presente en C-A2 y B-A1, puede ser usado como fuente de energía por los microorganismos heterótrofos, los cuales demandan materia orgánica lábil (de rápida descomposición por la acción directa de los sistemas enzimáticos microbiales) para su ciclo de vida (Burbano, 2001). De igual forma indica que dichos estiércoles presentaron la menor madurez o estabilidad (Soto y Meléndez, 2004).

4.5.3.- Matriz de ponderación

Las EA caracterizadas fueron evaluadas en la matriz (Tabla 12) de acuerdo a los parámetros que se consideraron más importantes para definir su calidad química, biológica y bioquímica como fertilizantes, en base a las necesidades nutricionales de los cultivos, la disponibilidad de los nutrientes y la menor potencialidad de daños a la salubridad y contaminación del ambiente que trae consigo su utilización como abonos. Los criterios de evaluación considerados y su respectiva importancia respecto a la calidad en porcentaje, fueron los siguientes:

4.5.3.1.- Necesidades nutricionales de las plantas

- *N, P y K*: dada la gran influencia que tienen en la nutrición y desarrollo de las plantas y las grandes aportaciones de estos que requieren la mayoría de los cultivos, son los elementos principales que constituyen la base de cualquier fertilizante. Por esta razón, el porcentaje de importancia asignado respecto a los otros criterios fue igual a 50 %.

- *Mg, Ca y S*: estos elementos son los macronutrientes secundarios de las plantas, por lo que el porcentaje asignado a este parámetro fue de 35 %.

- *Fe, Mn y Zn*: estos elementos son los micronutrientes principales de las plantas, las deficiencias para los cultivos se presentan generalmente en suelos agrícolas agotados (Torri *et al.*, 2005). Un porcentaje de 15% se le asignó a este criterio.

4.5.3.2.- Disponibilidad de nutrientes para las plantas

- *Relación C/N*: esta característica es determinante en los procesos de mineralización e inmovilización del N, por lo que el porcentaje fijado a este criterio fue de 50%.

- *MO lábil*: el contenido de esta fracción de la MO refleja la disponibilidad inmediata y la disponibilidad potencial a corto plazo del N y el C debido a su rápida tasa de mineralización respecto a la fracción estable (Rice & García, 1994; Burbano, 2001). Se le asignó a este parámetro un 25% de importancia.

- *pH*: esta propiedad influye en la evolución del N inorgánico y en la actividad microbiana, entre otros factores, por lo cual se le estableció un 25% de importancia respecto a los otros dos criterios.

4.5.3.3.- Potencialidad de daños a la salubridad y contaminación del ambiente

- *Coliformes fecales*: la incorporación de estos microorganismos puede producir una distorsión descontrolada en la composición microbiana del suelo (Basaure, 2006); al contaminar los cultivos y el suelo, puede afectar la salud de los humanos. Se le asignó 40% de importancia.
- *Hongos y bacterias totales*: muchos de estos microorganismos pueden causar enfermedades a las plantas, sin embargo los hongos y bacterias heterótrofas llevan a cabo la mineralización e inmovilización de nutrientes y muchos son beneficiosos para el suelo. Considerando los contenidos totales, se estableció un porcentaje de 10% a ambos parámetros.
- *Cu*: la toxicidad en este elemento puede inhibir el desarrollo de las plantas y contaminar suelos y aguas, razones por lo cual se le asignó un 40% en la matriz.

Finalmente, como puede observarse en la matriz de ponderación (Tabla 12), la calidad de los estiércoles asociada a las necesidades nutricionales de las plantas presentó el siguiente orden en base a los criterios analizados anteriormente: G-A1 > G-A2 > C-A1 > C-A2 > B-A1 > B-A2; la calidad relacionada a la disponibilidad de nutrientes presentó el siguiente orden: G-A1 > G-A2 \cong C-A2 > C-A1 > B-A1 > B-A2; y la calidad referente a la menor potencialidad de daños a la salubridad y contaminación del ambiente presentó el siguiente orden: B-A2 > G-A2 > B-A1 > G-A1 > C-A2 > C-A1.

Englobando a todos los criterios, considerando igual de importante tanto las necesidades nutricionales de las plantas, como la disponibilidad de nutrientes y la menor potencialidad de daños a la salubridad y contaminación del ambiente, se obtuvo que la gallinaza, la cerdaza y la bosta de mayor calidad fueron G-A1, C-A2 y B-A2, respectivamente, y de estas G-A1 obtuvo una mayor puntuación total promedio, lo que la pondera como el mejor abono para emplear como fertilizante. En contraste, B-A1 obtuvo la menor puntuación, lo que convierte a este estiércol en el menos adecuado como fertilizante.



4.5.4.- Evaluación general de la calidad

Los estiércoles vacunos resultaron ser pobres en elementos nutritivos respecto a la gallinaza y la cerdaza, al grado de no cumplir con los contenidos mínimos requeridos internacionalmente para abonos, con excepción del contenido de N. Sin embargo, su utilización como abono puede mejorar las características físicas, químicas y biológicas del suelo por el considerable aporte de C orgánico (Trinidad, 1987). El tipo de alimentación no afectó considerablemente la calidad química, pero sí afectó en cierto grado la calidad biológica. Una alimentación natural, sin aditivos o no procesada como A2 permite reducir el potencial contaminante de las excretas de vacunos, lo que se pudo constatar al obtener B-A2 la mayor puntuación en la matriz de ponderación (Tabla 12) respecto a la menor potencialidad de daños a la salubridad y contaminación del ambiente.

La gallinaza resultó ser el mejor abono para cubrir las necesidades nutricionales de las plantas, además, los elementos nutritivos que la componen se encontraban en forma más disponible, según la matriz de ponderación realizada. El mayor contenido nutritivo del alimento dado a las gallinas ponedoras (A1) se vio reflejado en sus excretas. De acuerdo a varios criterios considerados, la diferencia en la composición de las dietas permitió apreciar diferencias de importante consideración tales como en el contenido de N, Ca, S, y COT, el pH y la conductividad. No obstante, la menor calidad biológica de G-A1, debido a la mayor abundancia de hongos y coliformes fecales, respecto a G-A2, redujo la calidad determinada para este estiércol.

La cerdaza resultó ser igualmente de buena calidad química y bioquímica, aunque en menor grado que la gallinaza, de acuerdo a la matriz de ponderación. La alta potencialidad de daños a la salubridad y contaminación del ambiente observada, estuvo determinada por el tipo de sistema de producción y por el estado sanitario propio de cada criadero. El mayor contenido nutritivo del alimento dado a los porcinos de producción intensiva (A1) se vio reflejado en sus excretas. Sin embargo, las mayores diferencias encontradas entre estas excretas debido al tipo de dieta se dieron en el contenido de Cu de C-A1 y el mayor número de coliformes fecales de



C-A2. La gran cantidad de bacterias coliformes fecales en ambas EA y el alto contenido de Cu, en el caso de C-A1, no las hacen adecuadas para su utilización como fertilizantes sin un procesamiento o tratamiento previo.

Tabla 12. Matriz para evaluar la calidad de los estiércoles como fertilizantes

Criterios de calidad	Estiércol											
	B-A1		B-A2		G-A1		G-A2		C-A1		C-A2	
	Pond	Punt	Pond	Punt	Pond	Punt	Pond	Punt	Pond	Punt	Pond	Punt
Necesidades nutricionales de las plantas												
N, P y K (50%)	5	2,5	4	2,0	10	5,0	8	4,0	7	3,5	6	3,0
Mg, Ca y S (35%)	1	0,4	1	0,4	10	3,5	8	2,8	6	2,1	6	2,1
Fe, Mn y Zn (15%)	2	0,3	3	0,5	10	1,5	9	1,4	10	1,5	7	1,1
Subtotal		3,2		2,8		10,0		8,2		7,1		6,2
Potencialidad de daños a la salubridad y contaminación del ambiente												
Coliformes fecales (40%)	7	2,8	10	4,0	6	2,4	8	3,2	4	1,6	1	0,4
Hongos totales (10%)	7	0,7	10	1,0	1	0,1	3	0,3	5	0,5	8	0,8
Bacterias totales (10%)	1	0,1	3	0,3	4	0,4	7	0,7	10	1,0	8	0,8
Cu (40%)	10	4,0	10	4,0	8	3,2	8	3,2	1	0,4	9	3,6
Subtotal		7,6		9,3		6,1		7,4		3,5		5,6
Disponibilidad de nutrientes												
Relación C/N (50%)	3	1,5	2	1,0	10	5,0	10	5,0	7	3,5	5	2,5
Aporte de MO lábil (25%)	8	2,0	3	0,8	5	1,3	6	1,5	4	1,0	10	2,5
pH (25%)	2	0,5	5	1,3	7	1,8	4	1,0	10	2,5	10	2,5
Subtotal		4,0		3,0		8,0		7,5		7,0		7,5
Puntuación total promedio		4,9		5,0		8,0		7,7		5,9		6,4

Nota. Rango de ponderación: (1 a 10); B: estiércol de ganado vacuno (bosta), G: estiércol de gallinas (gallinaza), C: estiércol de ganado porcino (cerdaza), A1: alimentación 1, A2: alimentación, Pond: ponderación, Punt: puntuación.

CONCLUSIONES

1. Los animales alimentados con una dieta de concentrados produjeron estiércoles con mayor contenido nutricional para las plantas respecto a los alimentados una dieta de bajo nivel (de mantenimiento).
2. La gallinaza resultó ser el estiércol con mayor contenido nutritivo para las plantas y la bosta el de menor contenido nutritivo.
3. La dieta suministrada a las gallinas ponedoras produjo un estiércol de mayor contenido nutricional para las plantas respecto a la suministrada a las gallinas de engorde, la dieta suministrada a los porcinos del sistema de producción intensivo produjo un estiércol de mayor contenido nutricional para las plantas respecto a la suministrada a los porcinos del sistema de producción tradicional y la dieta suministrada a los vacunos de leche produjo un estiércol de mayor contenido nutricional para las plantas respecto a la suministrada a los vacunos de carne.
4. El contenido nutritivo de la gallinaza y la cerdaza cumplió con los requerimientos mínimos establecidos internacionalmente para residuos a ser utilizados como abonos orgánicos, pero el contenido nutritivo de la bosta no cumplió con dichos requerimientos, con excepción del contenido de N que si resultó suficiente.
5. Las tasas de mineralización de C fueron mayor en la gallinaza y en la bosta durante el periodo de incubación de las EA; las de la gallinaza y la cerdaza disminuyeron en el tiempo y las de la bosta permanecieron relativamente constantes.



6. La disminución del N mineral, asociada al proceso de inmovilización del N y a las pérdidas en forma de NH_3 , predominó sobre el proceso de mineralización durante la incubación corta de las EA.
7. La cerdaza proveniente del sistema de producción tradicional y la bosta proveniente de vacunos de leche presentaron un mayor contenido de fracciones lábiles de C respecto al resto de las EA, mientras que la bosta proveniente de vacunos alimentados con solamente pasto presentó el menor contenido.
8. La cerdaza resultó ser el estiércol con mayor potencialidad de ocasionar daños a la salubridad y contaminar el ambiente, mientras que la bosta proveniente de vacunos alimentados exclusivamente con pasto resultó ser el estiércol con menor potencialidad de ocasionar dichos daños.
9. El sistema de producción animal y el estado sanitario del criadero ejercieron un efecto importante sobre la potencialidad de la cerdaza de ocasionar daños a la salubridad y contaminar el ambiente.
10. La bosta presentó el mayor contenido de bacterias, la gallinaza el mayor contenido de hongos y la cerdaza el mayor contenido de coliformes, respecto a las otras EA.
11. Los contenidos de coliformes fecales de las excretas animales (EA) estudiadas excedieron los contenidos máximos permitidos establecidos por normas internacionales.
12. El aditivo de Cu presente en la dieta de los porcinos sujetos a un sistema de producción intensivo generó un contenido de Cu en sus excretas superior al máximo permitido internacionalmente para metales pesados en abonos.
13. La dieta suministrada a los vacunos no influyó significativamente sobre la calidad de sus estiércoles, mientras que la suministrada a las gallinas y los porcinos sí influyó de manera significativa sobre la calidad.
14. La gallinaza resultó ser el estiércol de mayor calidad respecto al resto y la bosta el de menor calidad.

RECOMENDACIONES

- **A los productores agrícolas:**
 - Se recomienda el secado y el tratamiento físico o biológico de las excretas animales (EA) antes de su utilización como fertilizantes, con la finalidad de reducir la humedad y la cantidad de microorganismos patógenos, la emisión de malos olores y la proliferación de moscas, y a la vez mejorar las condiciones de almacenamiento, manejo y mantenimiento.
 - Para la fertilización de los cultivos, se recomienda la utilización de la gallinaza para un aporte integral de nutrientes y materia orgánica. La bosta se recomienda para un aporte de nitrógeno y carbono, con un bajo riesgo de contaminación. No se recomienda la cerdaza proveniente de sistemas de producción intensivos debido a la potencial contaminación de los cultivos y el suelo con metales pesados.
 - Para tener una noción de la calidad de un estiércol, se recomienda indagar en la dieta del animal que lo produjo debido a la estrecha relación existente entre calidad y dieta.
 - Se recomienda realizar balances de nutrientes entre los requeridos por los cultivos y los contenidos en los suelos y en las EA, con la finalidad de determinar la dosis de aplicación del abono, sobre todo para el nitrógeno por ser el nutriente más limitante en la fertilización. De esta manera se puede evitar realizar aplicaciones excesivas que puedan generar contaminación del ambiente y gastos innecesarios de recursos.

- **A los productores pecuarios:**
 - Se recomienda realizar balances de nutrientes entre los suministrados al animal a través de la dieta, las cantidades que su organismo es capaz de absorber y los contenidos en su estiércol, con la finalidad de lograr una mayor precisión al diseñar la estrategia alimenticia y evitar suministros innecesarios de nutrientes que puedan generar gastos innecesarios de recursos.
 - A los productores porcícolas de sistemas intensivos se recomienda la reducción del contenido de cobre de la dieta del animal, mediante la sustitución del mismo por otro aditivo equivalente que sea mejor aprovechado por su organismo y que no desvalore sus excretas.

- **A futuros investigadores:**
 - Realizar incubaciones largas (> 200 días) de las EA para tener un mejor conocimiento de los procesos de mineralización tanto del carbono como del nitrógeno y de sus fracciones lábiles.
 - Indagar con mayor profundidad en los grupos microbianos de bacterias y hongos de las EA, tanto patógenos como beneficiosos para las plantas y el suelo.
 - Realizar evaluaciones de las EA provenientes de otros tipos de dietas y otros tipos de animales y de sus efectos sobre suelos y plantas.
 - Realizar evaluaciones de la influencia de la dieta sobre la efectividad de las EA en la fertilización de diferentes cultivos.

- **Al INIA:**
 - Se recomienda la estandarización de metodologías para la evaluación de las EA con la finalidad de crear una base documental para la comparación de la calidad.
 - Difundir información detallada a los productores agrícolas a nivel nacional acerca de los procesos más efectivos y económicos para el tratamiento de las EA.



- **A la Universidad de Carabobo:**
 - Se recomienda el incentivo de la investigación en el sector agroecológico ya que el mismo es estratégico e importante para el desarrollo sostenible de la nación y la sustentabilidad del medio ambiente.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Abad, M. (1998). Limitaciones y riesgos del uso agrícola de los residuos orgánicos. *En*: F. Orozco y W. Osorio (Comps.). Residuos Orgánicos. Aprovechamiento agrícola como abono y sustrato. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Colombia.
2. Amezquita, E. (2001). Las propiedades físicas y el manejo productivo de los suelos. *En*: F. Mojica (Comp.). Fertilidad de suelos. Diagnóstico y control. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. (2a. ed.). Colombia.
3. Andrioli, I., Centurion, J., Natale, W., Coutinho, E. y Banzatto, D. (1998). *Evaluación de la fertilidad del suelo y del cultivo de maíz después de siete años bajo diferentes sistemas de manejo* [Documento en línea]. Disponible: <http://nates.psu.ac.th/Link/SoilCongress/bdd/symp14/2212-t.pdf>. [Consulta: 2008, marzo 23].
4. Atlas R. y Bartha R. (2006). Ecología microbiana y microbiología ambiental. (4a. ed. en español; I. Capella, Trad.). Pearson Educación. Madrid. (Trabajo original publicado en 1998).
5. Azcón, J. y Talón, M. (2000). *Fundamentos de fisiología vegetal*. Interamericana. España.
6. AOAC. (1980). *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemist*. (13a. ed.). EE.UU.
7. Bellapart, C. (1996). *Nueva agricultura biológica en equilibrio con la agricultura química*. Mundi-Prensa. España.
8. Beloso, M. (1991). *Estudio de la gallinaza como fertilizante agrícola*. Tesis doctoral no publicada. Departamento de Edafología y Química Agrícola, Universidad de Santiago de Compostela. España.
9. Bianchini, A. y García F. (2005). Fuentes de fertilizantes y sistemas de aplicación. *En*: H. Echeverría y F. García (Comps.). Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. INTA. Argentina.



10. Burbano, H. (2001). La materia orgánica del suelo en el contexto de una agricultura sostenible. *En*: F. Mojica (Comp.). Fertilidad de suelos. Diagnóstico y control. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. (2a. ed.). Colombia.
11. Calderón, F., McCarty, G. and Reeves, J. (2005). Analysis of manure and soil nitrogen mineralization during incubation. *Biol. Fertil. Soils.*, 41: 328-336.
12. Capulín, J., Núñez R., Etchevers J. y Baca G. (2001). Evaluación del extracto líquido de estiércol bovino como Insumo de nutrición vegetal en hidroponia. *Agrociencia*, 35: 287-299.
13. Castellón, P. (1993): Valoración agronómica de las deyecciones animales. *En*: Fundación “La Caixa”. Residuos ganaderos. España.
14. Centro de Estudios Agropecuarios. (2001a). *Crianza de porcinos*. Serie Agro-Negocios. Iberoamericana. México, D. F.
15. Centro de Estudios Agropecuarios. (2001b). *Crianza de vacas*. Serie Agro-Negocios. Iberoamericana. México, D. F.
16. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. (2007). *Análisis de laboratorio recomendados para estiércol con fines de fertilidad* [Folleto]. Maracay: Autor.
17. Church, D. y Pond, W. (1996). *Fundamentos de nutrición y alimentación de animales*. (1a. ed. en español; Grupo Noriega Editores, Trad.). LIMUSA. México. (Trabajo original publicado en 1987).
18. Clavijo, P. (2001). Metabolismo de los nutrientes en las plantas. *En*: F. Mojica (Comp.). Fertilidad de suelos. Diagnóstico y control. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. (2a. ed.). Colombia.
19. Conti, M. y García, F. (2005). Potasio. *En*: H. Echeverría y F. García (Comps.). Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. INTA. Argentina.
20. Contreras, F., Paolini, J. y Rivero, C. (2004). El uso de enmiendas orgánicas y su efecto sobre la actividad de deshidrogenasa y mineralización del carbono en suelos. *Rev. Fac. Agron. (UCV)*, 30: 95-107.



21. Costa, F., García, C., Hernández, T. y Polo, A. (1991). *Residuos orgánicos urbanos. Manejo y utilización*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Centro de Edafología y Biología Aplicada de Segura. España.
22. Delgado, R. (2006). ¿Es necesario un nuevo enfoque de los estudios de fertilidad del suelo para una agricultura sustentable en Venezuela? *Revista Digital CENIAP HOY*, 12: septiembre-diciembre. [Revista en línea]. Disponible: http://www.ceniap.gov.ve/pbd/RevistasTecnicas//ceniaphoy/articulos/n12/pdf/delgado_r.pdf. [Consulta: 2007, julio 1].
23. Duarte, V., Magaña, A., y Rodríguez F. (1990). Utilización de heces en la alimentación animal. *Técnica Pecuaria Méx.*, 28: 22-29.
24. Echeverría, H. (2005). Azufre. *En*: H. Echeverría y F. García (Comps.). Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. INTA. Argentina.
25. Ellert, B. and Bettany, J. (1988). Comparison of kinetic models for describing net sulphur and nitrogen mineralization. *Soil Sci. Soc. Am. Journal*, 52: 1692-1702.
26. Environmental Protection Agency (EPA). (1993). *Standards for the use or disposal of sewage sludge. 40CRF-part 503. Biosolids Rule*. EE.UU.: Autor.
27. Espinosa, J. (2001). Acidez y encalado de los suelos. *En*: F. Mojica (Comp.). Fertilidad de suelos. Diagnóstico y control. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. (2a. ed.). Colombia.
28. Espinoza, Y. y Gil, J. (2003). Utilización de las heces de bovinos para fertilizar pastizales. *Zootecnia Tropical*, 22(4): 317-331.
29. Espinoza, Y. y Gil, J. (2004). Manejo del estiércol animal como fertilizante. *Agroservicios*, 9: 50-53.
30. FAO/OIEA. (1987). *Manual de laboratorio. Métodos para el análisis de ¹⁵N*. Viena: Autor.
31. Fuentes, J. (1997). *Manual práctico de manejo de suelo y de los fertilizantes*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Mundi-Prensa. Madrid.



32. García, F., Picone, L. y Berardo, A. (2005). Fósforo. *En*: H. Echeverría y F. García (Comps.). Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. INTA. Argentina.
33. Gilabert, J., López, I. y Pérez, R. (1990). *Manual de métodos y procedimientos de referencia. Análisis de suelo para diagnóstico de fertilidad*. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias (FONAIP). Ministerio de Agricultura y Cría. Maracay: Autor.
34. Guerra, P. (2002). Estrategias sobre el uso de excretas animales para la agricultura en México. *En*: FAO. Opciones para el Manejo de Efluentes de Granjas Porcícolas de la Zona Centro de México. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.fao.org/WAIRDOCS/LEAD/X6372S/x6372s08.htm>. [Consulta: 2007, julio 1].
35. Guerrero, J. y Monsalve J. (2007, Mayo). Evaluación del compostaje de subproductos derivados del sacrificio y faenado del ganado. *Scientia et Technica*, Año XIII (34). [Revista en línea]. Disponible: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/849/84934101.pdf>. [Consulta: 2008, abril 10].
36. Guerrero, R. (2001). Propiedades generales de los fertilizantes químicos. *En*: F. Mojica (Comp.). Fertilidad de suelos. Diagnóstico y control. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. (2a. ed.). Colombia.
37. Herrera, C. y Peralta, J. (2004). *Caracterización química y nutricional de los desechos fecales porcinos* [Documento en línea]. Disponible: http://www2.sag.gob.cl/Recursos-Naturales/manejo_purines_cerdo/pdf/Capitulo_2.pdf. [Consulta: 2007, julio 1].
38. Jenkinson, D. and Powlson, D. (1976). Effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring the soil biomass. *Soil Biol. Biochem*, 8: 209-213.
39. Jiménez, L., Larreal, M. y Noguera, N. (2004). Efectos del estiércol bovino sobre algunas propiedades químicas de un ultisol degradado en el área de la



- Machiques Colón, estado Zulia. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*, 21. [Revista en línea]. Disponible: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182004000400001&lng=pt&nrm=iso. [Consulta: 2008, marzo 4].
40. Jurado, P. (2003). Estrategias sobre el uso de excretas animales para la agricultura en México. *En: FAO. Opciones para el Manejo de Efluentes de Granjas Porcícolas de la Zona Centro de México*. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.fao.org/wairdocs/LEAD/X6372S/x6372s07.htm>. [Consulta: 2007, julio 1].
41. Kimani, S. and Lekasi, J. (2004). Managing manures throughout their production cycle enhances their usefulness as fertilizers: A review. *En: A. Bationo (Comp.). Managing nutrient cycles to sustain soil fertility in Sub-Saharan Africa*. African Academy of Sciences. [Libro en línea]. Disponible: http://www.ciat.cgiar.org/webciat/tsbf_institute/managing_nutrient_cycles/20AfNetPrelims.pdf. [Consulta: 2008, abril 10].
42. León, L. (2001). Evaluación de la fertilidad del suelo. *En: F. Mojica (Comp.). Fertilidad de suelos. Diagnóstico y control*. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. (2a. ed.). Colombia.
43. Lora, R. (2001). Factores que afectan la disponibilidad de nutrimentos para las plantas. *En: F. Mojica (Comp.). Fertilidad de suelos. Diagnóstico y control*. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. (2a. ed.). Colombia.
44. Manual de procedimientos del Sistema de Gestión de la Calidad de los Laboratorios (SGCL). (2007). INIA.
45. Marcano, A., Rodríguez, J. y Mohsin, M. (2003). Efecto del azufre elemental sobre el pH y la solubilidad de algunos nutrimentos en fosfocomposts. *Interciencia*, 28 (9): 504-511.
46. Masterton, W. y Slowinski, E. (1979). *Química General Superior*. (3a. ed. en español; T. Sandoval y J. Estrada, Trad.). Interamericana. México. (Trabajo original publicado en 1977).



47. Méndez, G., Ríos, L., Combillas, J., Colmenares, O. y Álvarez, R. (2004) Efecto del nivel de gallinaza sobre el consumo de dietas completas para ovinos estabulados en etapa de crecimiento. *Zootecnia Tropical*, 22(1): 1-13.
48. Ministerio de Comercio e Industrias de Panamá. (2000). *Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 47*. [Documento en línea]. Disponible: http://www.anam.gob.pa/normasambientales/normas_agua_residuales/main-47-2000.htm. [Consulta: 2008, abril 10].
49. Muñoz, R. (2001). Los abonos orgánicos y su uso en la agricultura. *En: F. Mojica (Comp.). Fertilidad de suelos. Diagnóstico y control. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. (2a. ed.). Colombia.*
50. Norma COVENIN 2534:2000 (ISO/IEC 17025:2005). (2000). Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración. Caracas: FONDONORMA.
51. Norma Técnica Colombiana (NTC) 5167. (2004). Materiales orgánicos utilizados como fertilizantes o acondicionadores de suelos. Bogotá.
52. Oliva M., Velasco D., Ventura L., Ballinas E., Salvador M. y Gutiérrez F. (2004). Estudios de eliminación de microorganismos patógenos de residuales porcinos en un biorreactor con tiempo de retención corto. [Documento en línea]. Disponible: http://www.sian.info.ve/porcinos/publicaciones/rccpn/revista11_01_2004/oliva.htm. [Consulta: 2008, abril 10].
53. Palacios, O. (2005). Evaluación de un sistema discontinuo de biodigestión anaerobia para el tratamiento de desechos avícolas. *Rev. Fac. Ing. UCV*, 20 (4): 105-112.
54. Parra, F., Díaz, I., González, C., Hurtado, E., Garbati, S. y Vecchionacce, H. (2002). Efecto de tres tipos de presentación de alimento preparado con raíz y follaje de yuca (manihot esculenta, crantz) sobre la digestibilidad aparente en cerdos. *Revista Científica*, vol. XII, suplemento 2, octubre, 471-474.
55. Pérez, C. y Torres, L. (2005). *Lineamientos metodológicos para la redacción y elaboración del plan de trabajo*. Trabajo no publicado.



56. Picone, L. (2005). Propiedades del suelo relacionadas con la fertilidad. *En*: H. Echeverría y F. García (Comps.). Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. INTA. Argentina.
57. Quesada, G. y Méndez, C. (2005). Análisis fisicoquímico de materias primas y sustratos para almácigos. *Revista de Agricultura Tropical*, 35: 01-13.
58. Rice, C. and Garcia, F. (1994). Biologically Active Pools of Carbon and Nitrogen in Tallgrass Prairie Soil. *Soil Sci. Soc. Am.*, Publicación especial N° 35.
59. Ríos, L., Combellas, J. y Álvarez, R. (2005). Uso de excretas de aves en la alimentación de ovinos. *Zootecnia Tropical*, 23(2): 183-210.
60. Rivero, C. (1999). Materia orgánica del suelo. *Alcance*, 57: 211.
61. Rivero, C. y Carracedo, C. (1999). Efecto del uso de gallinaza sobre algunos parámetros de fertilidad química de dos suelos de pH contrastante. *Rev. Fac. Agron. UCV*, 25: 83-93.
62. Rodríguez, C. (2002). [Reseña divulgativa de Manual Técnico Agropecuario, de C. Rivera y A. Carrau]. Residuos ganaderos [Documento en línea]. Disponible: <http://www.vet-uy.com/articulos/agricultura/050/0009/agri009.htm>. [Consulta: 2007, julio 1].
63. Romera, M. (1995). *Agricultura ecológica* [Documento en línea]. Disponible: http://www.infoagro.com/agricultura_ecologica/agricultura_ecologica05.asp. [Consulta: 2008, febrero 28].
64. Salazar, E., López, J., Zúñiga, R., Vázquez, C., Fórtiz, M. y Vital, J. (2005). *Uso y aprovechamiento del estiércol como alternativa nutricional en invernadero*. [Documento en línea]. Disponible: http://www.uaaan.mx/academic/Horticultura/Memhort05/uso_estiercol.pdf. [Consulta: 2008, marzo 23].
65. Salazar, G. (2003). Compendio de tecnologías para el manejo y utilización de las excretas de granjas porcícolas. *En*: FAO. Opciones para el Manejo de Efluentes de Granjas Porcícolas de la Zona Centro de México. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.fao.org/wairdocs/LEAD/X6372S/x6372s07.htm> [Consulta: 2007, julio 1].



66. Sorensen, P. (1998). Effects of storage time and straw content of cattle slurry on the mineralization of nitrogen and carbon in soil. *Biol Fertil Soils*, 27(1): 85-91.
67. Soto, G. y Meléndez G. (2004). Cómo medir la calidad de los abonos orgánicos. Hoja Técnica N° 48. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica)*, 72. [Revista en línea]. Disponible: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A1909E/A1909E.PDF>. [Consulta: 2007, julio 1].
68. Stanford, G. and Smith, S. (1972). Nitrogen mineralization potentials of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 36: 465-472.
69. Tisdale, S., Nelson W., Beaton J. and Havlin J. (1993). Soil fertility and Fertilizers. (5a. ed.). Macmillan Publishing Company. EE.UU.
70. Tobía, C. y Vargas, E. (2000). *Evaluación de las excretas de pollos de engorde (pollinaza) en la alimentación animal*. [Documento en línea]. Disponible: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/436/43624105.pdf>. [Consulta: 2007, julio 1].
71. Tognetti, J., Aguirrezábal L. y Assuero S. (2005). *En: H. Echeverría y F. García (Comps.). Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos*. INTA. Argentina.
72. Torri, S., Urricariet, S. y Lavado R. (2005). Micronutrientes y otros elementos trazas. *En: H. Echeverría y F. García (Comps.). Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos*. INTA. Argentina.
73. Trinidad, A. (1987). El uso de abonos orgánicos en la producción agrícola. *En: Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Serie Cuadernos de Edafología 10*. México.
74. Vázquez, M. (2005). Calcio y magnesio, acidez y alcalinidad de suelo. *En: H. Echeverría y F. García (Comps.). Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos*. INTA. Argentina.
75. Vilee, C., Solomon, E., Martin, D. y Berg, L. (1996). *Biología de Vilee*. (3a. ed. en español; R. Palacios, Trad.). Interamericana. México. (Trabajo original publicado en 1993).



76. Voroney, R. and Paul, E. (1984). Determination of k_C and k_N in situ for calibration of the chloroform fumigation-incubation method. *Soil Biol. Biochem.*, 16: 9-14.



APÉNDICE A

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

A continuación se muestra el análisis de varianza de las variables correspondientes al contenido de N, P y K de los estiércoles estudiados, realizado mediante el procedimiento GLM (PROC GLM) del programa SAS (SAS Institute, Inc., 1996) y aplicando un diseño experimental completamente al azar.

Los datos de entrada suministrados al programa corresponden a los contenidos de N, P y K de las cuatro repeticiones de cada uno de los tratamientos. Los datos de salida obtenidos expresan el valor medio y la desviación estándar de las variables N, P y K para cada tratamiento, mostrados en las figuras 1, 2 y 3, respectivamente; y los resultados de la prueba F y de la prueba de Mínima Diferencia Significativa (MDS).

- **Nitrógeno (g N / kg materia seca)**

- Datos de entrada

```
data a;  
input trt rep y;  
label  
y= ' Observed Response'  
trt= 'Treatment Group' ;  
cards;
```

1	1	17.6
1	2	18.1
1	3	17.3
1	4	15.5
2	1	13.9
2	2	15.7
2	3	15.2
2	4	14.8
3	1	25.8
3	2	32.9
3	3	27.8
3	4	30.5
4	1	20.6
4	2	22.6
4	3	23.9
4	4	22.0
5	1	29.7
5	2	30.7



5	3	30.7
5	4	29.9
6	1	26.3
6	2	27.7
6	3	29.6
6	4	27.2

```

proc print data=a noobs;
var trt rep y;
run;
proc data=a nolegend,
plot y*trt='*';
run;
proc means data=a n min max mean var;
by trt;
var y;
run;
proc glm data=a;
classes trt;
model y= trt / ss4;
mean trt;
mean trt / lsd lines;
mean trt / lsd cldiff;
quit;

```

- Datos de salida

The SAS System

09: 10 Monday, March 3,

2008 17

trt	rep	y
1	1	17.6
1	2	18.1
1	3	17.3
1	4	15.5
2	1	13.9
2	2	15.7
2	3	15.2
2	4	14.8
3	1	25.8
3	2	32.9
3	3	27.8
3	4	30.5
4	1	20.6
4	2	22.6
4	3	23.9
4	4	22.0
5	1	29.7
5	2	30.7
5	3	30.7
5	4	29.9
6	1	26.3
6	2	27.7
6	3	29.6
6	4	27.2



March 3, 2008 18

The SAS System

09:10 Monday,

----- Treatment Group=1 -----

The MEANS Procedure

Analysis Variable : y Observed Response

N	Minimum	Maximum	Mean	Variance
4	15.500000	18.100000	17.125000	1.282500

----- Treatment Group=2 -----

Analysis Variable : y Observed Response

N	Minimum	Maximum	Mean	Variance
4	13.900000	15.700000	14.900000	0.580000

----- Treatment Group=3 -----

Analysis Variable : y Observed Response

N	Minimum	Maximum	Mean	Variance
4	25.800000	32.900000	29.250000	9.630000

----- Treatment Group=4 -----

Analysis Variable : y Observed Response

N	Minimum	Maximum	Mean	Variance
4	20.600000	23.900000	22.275000	1.875833

March 3, 2008 19

The SAS System

09:10 Monday,

----- Treatment Group=5 -----

The MEANS Procedure

Analysis Variable : y Observed Response

N	Minimum	Maximum	Mean	Variance
4	29.700000	30.700000	30.250000	0.276667

----- Treatment Group=6 -----

Analysis Variable : y Observed Response

N	Minimum	Maximum	Mean	Variance
4	26.300000	29.600000	27.700000	1.940000



March 3, 2008 20 The SAS System 09:10 Monday,

The GLM Procedure
 Class Level Information

Class	Levels	Values
trt	6	1 2 3 4 5 6
Number of observations		24

March 3, 2008 21 The SAS System 09:10 Monday,

The GLM Procedure

Dependent Variable: y Observed Response

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value
Model	5	849.2983333	169.8596667	65.39
Error	18	46.7550000	2.5975000	
Corrected Total	23	896.0533333		

R-Square	Coeff Var	Root MSE	y Mean
0.947821	6.833962	1.611676	23.58333

Source	DF	Type IV SS	Mean Square	F Value
trt	5	849.2983333	169.8596667	65.39

March 3, 2008 22 The SAS System 09:10 Monday,

The GLM Procedure

Level of trt	N	Mean	Std Dev
1	4	17.1250000	1.13247517
2	4	14.9000000	0.76157731
3	4	29.2500000	3.10322413
4	4	22.2750000	1.36961065
5	4	30.2500000	0.52599113
6	4	27.7000000	1.39283883

March 3, 2008 23 The SAS System 09:10 Monday,

The GLM Procedure
 t Tests (LSD) for y

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.



Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	18
Error Mean Square	2.5975
Critical Value of t	2.10092
Least Significant Difference	2.3943

Means with the same letter are not significantly different.

t	Grouping	Mean	N	trt
	A	30.250	4	5
	A			
B	A	29.250	4	3
B				
B		27.700	4	6
	C	22.275	4	4
	D	17.125	4	1
	D			
	D	14.900	4	2

March 3, 2008 24

The SAS System

09:10 Monday,

The GLM Procedure

t Tests (LSD) for y

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	18
Error Mean Square	2.5975
Critical Value of t	2.10092
Least Significant Difference	2.3943

Comparisons significant at the 0.05 level are indicated by ***.

trt	Comparison	Difference Between Means	95% Confidence Limits		
5	- 3	1.000	-1.394	3.394	
5	- 6	2.550	0.156	4.944	***
5	- 4	7.975	5.581	10.369	***
5	- 1	13.125	10.731	15.519	***
5	- 2	15.350	12.956	17.744	***
3	- 5	-1.000	-3.394	1.394	
3	- 6	1.550	-0.844	3.944	
3	- 4	6.975	4.581	9.369	***
3	- 1	12.125	9.731	14.519	***
3	- 2	14.350	11.956	16.744	***
6	- 5	-2.550	-4.944	-0.156	***
6	- 3	-1.550	-3.944	0.844	
6	- 4	5.425	3.031	7.819	***
6	- 1	10.575	8.181	12.969	***
6	- 2	12.800	10.406	15.194	***
4	- 5	-7.975	-10.369	-5.581	***
4	- 3	-6.975	-9.369	-4.581	***
4	- 6	-5.425	-7.819	-3.031	***
4	- 1	5.150	2.756	7.544	***
4	- 2	7.375	4.981	9.769	***
1	- 5	-13.125	-15.519	-10.731	***
1	- 3	-12.125	-14.519	-9.731	***
1	- 6	-10.575	-12.969	-8.181	***
1	- 4	-5.150	-7.544	-2.756	***
1	- 2	2.225	-0.169	4.619	



2	- 5	- 15.350	- 17.744	- 12.956	***
2	- 3	- 14.350	- 16.744	- 11.956	***
2	- 6	- 12.800	- 15.194	- 10.406	***
2	- 4	- 7.375	- 9.769	- 4.981	***
2	- 1	- 2.225	- 4.619	0.169	

• Fósforo (mg P / kg materia seca)

- Datos de entrada

```
data a;
input trt rep y;
label
y= 'Observed Response'
trt= 'Treatment Group' ;
cards;
```

1	1	1980
1	2	2690
1	3	2140
1	4	2170
2	1	1210
2	2	1250
2	3	1730
2	4	1550
3	1	26800
3	2	25300
3	3	24800
3	4	26300
4	1	24200
4	2	24000
4	3	23400
4	4	22300
5	1	27900
5	2	29200
5	3	26700
5	4	29500
6	1	12100
6	2	10700
6	3	20700
6	4	21700

```
proc print data=a noobs;
var trt rep y;
run;
proc data=a nolegend,
plot y*trt='*';
run;
proc means data=a n min max mean var;
by trt;
var y;
```



```
run;
proc glm data=a;
classes trt;
model y= trt / ss4;
mean trt;
mean trt / lsd lines;
mean trt / lsd cldiff;
quit;
```

- Datos de salida

The SAS System 142
10:16 Monday, March 10, 2008

trt	rep	y
1	1	1980
1	2	2690
1	3	2140
1	4	2170
2	1	1210
2	2	1250
2	3	1730
2	4	1550
3	1	26800
3	2	25300
3	3	24800
3	4	26300
4	1	24200
4	2	24000
4	3	23400
4	4	22300
5	1	27900
5	2	29200
5	3	26700
5	4	29500
6	1	12100
6	2	10700
6	3	20700
6	4	21700

The SAS System 143
10:16 Monday, March 10, 2008

----- Treatment Group=1 -----

The MEANS Procedure

Analysis Variable : y Observed Response

N	Minimum	Maximum	Mean	Variance
4	1980.00	2690.00	2245.00	94966.67

----- Treatment Group=2 -----

Analysis Variable : y Observed Response

N	Minimum	Maximum	Mean	Variance
4	1210.00	1730.00	1435.00	61700.00



----- Treatment Group=3 -----

Analysis Variable : y Observed Response

N	Minimum	Maximum	Mean	Variance
4	24800.00	26800.00	25800.00	833333.33

The SAS System 144
10:16 Monday, March 10, 2008

----- Treatment Group=4 -----

The MEANS Procedure

Analysis Variable : y Observed Response

N	Minimum	Maximum	Mean	Variance
4	22300.00	24200.00	23475.00	729166.67

----- Treatment Group=5 -----

Analysis Variable : y Observed Response

N	Minimum	Maximum	Mean	Variance
4	26700.00	29500.00	28325.00	1655833.33

----- Treatment Group=6 -----

Analysis Variable : y Observed Response

N	Minimum	Maximum	Mean	Variance
4	10700.00	21700.00	16300.00	32506666.67

The SAS System 145
10:16 Monday, March 10, 2008

The GLM Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
trt	6	1 2 3 4 5 6

Number of observations 24

The SAS System 146
10:16 Monday, March 10, 2008

The GLM Procedure

Dependent Variable: y Observed Response

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value
Model	5	2819337733	563867547	94.29
Error	18	107645000	5980278	



```

Corrected Total          23      2926982733

Source                   Pr > F
Model                   <. 0001
Error
Corrected Total

R-Square      Coeff Var      Root MSE      y Mean
0.963223      15.03665      2445.461      16263.33

```

```

Source              DF      Type IV SS      Mean Square      F Value
trt                 5      2819337733      563867547      94.29

Source                   Pr > F
trt                   <. 0001

```

The SAS System 147
10:16 Monday, March 10, 2008

The GLM Procedure

Level of trt	N	Mean	Std Dev
1	4	2245.0000	308.16662
2	4	1435.0000	248.39485
3	4	25800.0000	912.87093
4	4	23475.0000	853.91256
5	4	28325.0000	1286.79188
6	4	16300.0000	5701.46180

The SAS System 148
10:16 Monday, March 10, 2008

The GLM Procedure

t Tests (LSD) for y

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	18
Error Mean Square	5980278
Critical Value of t	2.10092
Least Significant Difference	3632.9

Means with the same letter are not significantly different.

t Grouping	Mean	N	trt
A	28325	4	5
B	25800	4	3
B	23475	4	4
C	16300	4	6
D	2245	4	1
D	1435	4	2



The SAS System 149
10:16 Monday, March 10, 2008

The GLM Procedure

t Tests (LSD) for y

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	18
Error Mean Square	5980278
Critical Value of t	2.10092
Least Significant Difference	3632.9

Comparisons significant at the 0.05 level are indicated by ***.

trt Comparison	Difference Between Means	95% Confidence Limits		
5 - 3	2525	-1108	6158	
5 - 4	4850	1217	8483	***
5 - 6	12025	8392	15658	***
5 - 1	26080	22447	29713	***
5 - 2	26890	23257	30523	***
3 - 5	-2525	-6158	1108	
3 - 4	2325	-1308	5958	
3 - 6	9500	5867	13133	***
3 - 1	23555	19922	27188	***
3 - 2	24365	20732	27998	***
4 - 5	-4850	-8483	-1217	***
4 - 3	-2325	-5958	1308	
4 - 6	7175	3542	10808	***
4 - 1	21230	17597	24863	***
4 - 2	22040	18407	25673	***
6 - 5	-12025	-15658	-8392	***
6 - 3	-9500	-13133	-5867	***
6 - 4	-7175	-10808	-3542	***
6 - 1	14055	10422	17688	***
6 - 2	14865	11232	18498	***

The SAS System 150
10:16 Monday, March 10, 2008

The GLM Procedure

t Tests (LSD) for y

Comparisons significant at the 0.05 level are indicated by ***.

trt Comparison	Difference Between Means	95% Confidence Limits		
1 - 5	-26080	-29713	-22447	***
1 - 3	-23555	-27188	-19922	***
1 - 4	-21230	-24863	-17597	***
1 - 6	-14055	-17688	-10422	***
1 - 2	810	-2823	4443	
2 - 5	-26890	-30523	-23257	***
2 - 3	-24365	-27998	-20732	***
2 - 4	-22040	-25673	-18407	***
2 - 6	-14865	-18498	-11232	***
2 - 1	-810	-4443	2823	



- **Potasio (g K / 100 g materia seca)**

- Datos de entrada

```
data a;  
input trt rep y;  
label  
y= 'Observed Response'  
trt= 'Treatment Group' ;  
cards;
```

1	1	0.441
1	2	0.332
1	3	0.392
1	4	0.353
2	1	0.226
2	2	0.198
2	3	0.377
2	4	0.179
3	1	5.64
3	2	5.42
3	3	5.00
3	4	4.89
4	1	4.94
4	2	4.98
4	3	5.00
4	4	5.09
5	1	1.20
5	2	1.45
5	3	1.39
5	4	1.27
6	1	1.24
6	2	1.43
6	3	2.03
6	4	1.96

```
proc print data=a noobs;  
var trt rep y;  
run;  
proc data=a nolegend.  
plot y*trt='*';  
run;  
proc means data=a n min max mean var;  
by trt;  
var y;  
run;  
proc glm data=a;  
classes trt;  
model y= trt / ss4;  
mean trt;  
mean trt / lsd lines;  
mean trt / lsd cldiff;
```



quit;

- Datos de salida

The SAS System 151
10:16 Monday, March 10, 2008

trt	rep	y
1	1	0.441
1	2	0.332
1	3	0.392
1	4	0.353
2	1	0.226
2	2	0.198
2	3	0.377
2	4	0.179
3	1	5.640
3	2	5.420
3	3	5.000
3	4	4.890
4	1	4.940
4	2	4.980
4	3	5.000
4	4	5.090
5	1	1.200
5	2	1.450
5	3	1.390
5	4	1.270
6	1	1.240
6	2	1.430
6	3	2.030
6	4	1.960

The SAS System 152
10:16 Monday, March 10, 2008

----- Treatment Group=1 -----

The MEANS Procedure

Analysis Variable : y Observed Response

N	Minimum	Maximum	Mean	Variance
4	0.3320000	0.4410000	0.3795000	0.0022990

----- Treatment Group=2 -----

Analysis Variable : y Observed Response

N	Minimum	Maximum	Mean	Variance
4	0.1790000	0.3770000	0.2450000	0.0081167

----- Treatment Group=3 -----

Analysis Variable : y Observed Response

N	Minimum	Maximum	Mean	Variance
4	4.8900000	5.6400000	5.2375000	0.1241583



The SAS System 153
10:16 Monday, March 10, 2008

Treatment Group=4

The MEANS Procedure

Analysis Variable : y Observed Response

Table with 5 columns: N, Minimum, Maximum, Mean, Variance. Row 1: 4, 4.9400000, 5.0900000, 5.0025000, 0.0040250

Treatment Group=5

Analysis Variable : y Observed Response

Table with 5 columns: N, Minimum, Maximum, Mean, Variance. Row 1: 4, 1.2000000, 1.4500000, 1.3275000, 0.0128250

Treatment Group=6

Analysis Variable : y Observed Response

Table with 5 columns: N, Minimum, Maximum, Mean, Variance. Row 1: 4, 1.2400000, 2.0300000, 1.6650000, 0.1520333

The SAS System 154
10:16 Monday, March 10, 2008

The GLM Procedure

Class Level Information

Table with 3 columns: Class, Levels, Values. Row 1: trt, 6, 1 2 3 4 5 6

Number of observations 24

The SAS System 155
10:16 Monday, March 10, 2008

The GLM Procedure

Dependent Variable: y Observed Response

ANOVA table with 5 columns: Source, DF, Sum of Squares, Mean Square, F Value. Rows: Model, Error, Corrected Total

Table with 2 columns: Source, Pr > F. Row 1: Model, <.0001



R-Square Coeff Var Root MSE y Mean
 0.991047 9.737674 0.224892 2.309500

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value
trt	5	100.7687900	20.1537580	398.48

Source	Pr > F
trt	<.0001

The SAS System 156
 10:16 Monday, March 10, 2008

The GLM Procedure

Level of trt	N	Mean	Std Dev
1	4	0.37950000	0.04794789
2	4	0.24500000	0.09009255
3	4	5.23750000	0.35236108
4	4	5.00250000	0.06344289
5	4	1.32750000	0.11324752
6	4	1.66500000	0.38991452

The SAS System 157
 10:16 Monday, March 10, 2008

The GLM Procedure

t Tests (LSD) for y

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	18
Error Mean Square	0.050576
Critical Value of t	2.10092
Least Significant Difference	0.3341

Means with the same letter are not significantly different.

t Grouping	Mean	N	trt
A	5.2375	4	3
A	5.0025	4	4
B	1.6650	4	6
C	1.3275	4	5
D	0.3795	4	1
D	0.2450	4	2

The SAS System 158
 10:16 Monday, March 10, 2008

The GLM Procedure

t Tests (LSD) for y

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not



the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	18
Error Mean Square	0.050576
Critical Value of t	2.10092
Least Significant Difference	0.3341

Comparisons significant at the 0.05 level are indicated by ***.

trt Comparison	Difference Between Means	95% Confidence Limits		
3 - 4	0.2350	-0.0991	0.5691	
3 - 6	3.5725	3.2384	3.9066	***
3 - 5	3.9100	3.5759	4.2441	***
3 - 1	4.8580	4.5239	5.1921	***
3 - 2	4.9925	4.6584	5.3266	***
4 - 3	-0.2350	-0.5691	0.0991	
4 - 6	3.3375	3.0034	3.6716	***
4 - 5	3.6750	3.3409	4.0091	***
4 - 1	4.6230	4.2889	4.9571	***
4 - 2	4.7575	4.4234	5.0916	***
6 - 3	-3.5725	-3.9066	-3.2384	***
6 - 4	-3.3375	-3.6716	-3.0034	***
6 - 5	0.3375	0.0034	0.6716	***
6 - 1	1.2855	0.9514	1.6196	***
6 - 2	1.4200	1.0859	1.7541	***
5 - 3	-3.9100	-4.2441	-3.5759	***
5 - 4	-3.6750	-4.0091	-3.3409	***
5 - 6	-0.3375	-0.6716	-0.0034	***
5 - 1	0.9480	0.6139	1.2821	***
5 - 2	1.0825	0.7484	1.4166	***

The SAS System 159
10:16 Monday, March 10, 2008

The GLM Procedure

t Tests (LSD) for y

Comparisons significant at the 0.05 level are indicated by ***.

trt Comparison	Difference Between Means	95% Confidence Limits		
1 - 3	-4.8580	-5.1921	-4.5239	***
1 - 4	-4.6230	-4.9571	-4.2889	***
1 - 6	-1.2855	-1.6196	-0.9514	***
1 - 5	-0.9480	-1.2821	-0.6139	***
1 - 2	0.1345	-0.1996	0.4686	
2 - 3	-4.9925	-5.3266	-4.6584	***
2 - 4	-4.7575	-5.0916	-4.4234	***
2 - 6	-1.4200	-1.7541	-1.0859	***
2 - 5	-1.0825	-1.4166	-0.7484	***
2 - 1	-0.1345	-0.4686	0.1996	



APÉNDICE B

DETERMINACIÓN DE C_0 Y k_C

A continuación se muestra la determinación del carbono potencialmente mineralizable y la velocidad de mineralización específica (C_0 y k_C) de las cuatro repeticiones del tratamiento B-A2 mediante la resolución de un modelo de cinética de primer orden (Ec. 3.2) por medio del algoritmo Marquardt para modelos no lineales (PROC NLIN) del programa SAS (SAS Institute, Inc., 1996).

Los datos de entrada suministrados al programa corresponden a la curva de C mineralizado acumulado en función del tiempo de incubación. Los valores de C_0 y k_C de B-A2 indicados en la Tabla 4, corresponden al promedio de los resultados de C_0 y k_C de las cuatro repeticiones, mostrados en los respectivos datos de salida obtenidos del programa SAS.

- **Tratamiento B-A2 ($n = 1$)**

- Datos de entrada

```
options ls=70 ps=45;
DATA f2;
INPUT TIME CUMc;
CARDS;
           5           906
           8           1963
          11           3101
          14           4083
          21           4838
          28           5485
          34           5939
;
PROC PRINT;
PROC NLIN METHOD=MARQUARDT;
PARAMETERS cO=150 K=0.003;
KE=EXP(-K*TIME);
MODEL CUMc=cO*(1-KE);
DER.cO=(1-KE);
DER.K=cO*TIME*KE;
RUN;
```



- Datos de salida

The SAS System 79
09:31 Friday, March 14, 2008

Obs	TIME	CUMc
1	5	906
2	8	1963
3	11	3101
4	14	4083
5	21	4838
6	28	5485
7	34	5939

The SAS System 80
09:31 Friday, March 14, 2008

The NLIN Procedure
Dependent Variable CUMc
Method: Marquardt

Iterative Phase			
Iter	c0	K	Sum of Squares
0	150.0	0.00300	1.1923E8
1	4738.2	0.0987	5002963
2	5031.7	0.0957	3795110
3	5976.3	0.0582	2550338
4	7424.6	0.0438	1127303
5	7907.5	0.0429	814475
6	7916.0	0.0429	814383
7	7915.9	0.0429	814383

NOTE: Convergence criterion met.

Estimation Summary

Method	Marquardt
Iterations	7
Subiterations	10
Average Subiterations	1.428571
R	3.241E-6
PPC(K)	2.024E-6
RPC(K)	0.000024
Objective	1.341E-9
Objective	814383.1
Observations Read	7
Observations Used	7
Observations Missing	0

NOTE: An intercept was not specified for this model.

The SAS System 81
09:31 Friday, March 14, 2008

The NLIN Procedure

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Approx Pr > F
Regression	2	1.1891E8	59455051	365.03	<.0001
Residual	5	814383	162877		
Uncorrected Total	7	1.1972E8			
Corrected Total	6	20798881			



Parameter	Estimate	Approx Std Error	Approximate 95% Confidence Limits	
c_0	7915.9	1307.4	4555.2	11276.6
K	0.0429	0.0120	0.0121	0.0737

Approximate Correlation Matrix

	c_0	K
c_0	1.0000000	-0.9745698
K	-0.9745698	1.0000000

• **Tratamiento B-A2 ($n = 2$)**

- Datos de entrada

```
options ls=70 ps=45;
DATA f2;
INPUT TIME CUMc;
CARDS;
```

5	1206
8	2547
11	4303
14	5651
21	6790
28	7698
34	8681

```
;
PROC PRINT;
PROC NLIN METHOD=MARQUARDT;
PARAMETERS cO=150 K=0.003;
KE=EXP(-K*TIME);
MODEL CUMc=cO*(1-KE);
DER.cO=(1-KE);
DER.K=cO*TIME*KE;
RUN;
```

- Datos de salida

The SAS System 82
09:31 Friday, March 14, 2008

Obs	TIME	CUMc
1	5	1206
2	8	2547
3	11	4303
4	14	5651
5	21	6790
6	28	7698
7	34	8681

The SAS System 83
09:31 Friday, March 14, 2008

The NLIN Procedure
Dependent Variable CUMc
Method: Marquardt



Iter	Iterative Phase		Sum of Squares
	c0	K	
0	150.0	0.00300	2.3842E8
1	6657.2	0.1387	14979826
2	6871.3	0.1060	10647799
3	7246.2	0.0928	8375570
4	8785.2	0.0482	8211057
5	11464.7	0.0379	2266232
6	12378.2	0.0361	1703289
7	12403.3	0.0361	1701302
8	12404.1	0.0361	1701302
9	12404.0	0.0361	1701302

NOTE: Convergence criterion met.

Estimation Summary

Method	Marquardt
Iterations	9
Subiterations	11
Average Subiterations	1.222222
R	7.647E-7
PPC(K)	5.535E-7
RPC(K)	7.727E-6
Object	1.06E-10
Objective	1701302
Observations Read	7
Observations Used	7
Observations Missing	0

The SAS System 84
09:31 Friday, March 14, 2008

The NLIN Procedure

NOTE: An intercept was not specified for this model.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Approx Pr > F
Regression	2	2.3741E8	1.1871E8	348.87	<.0001
Residual	5	1701302	340260		
Uncorrected Total	7	2.3911E8			
Corrected Total	6	44851552			

Parameter	Estimate	Approx Std Error	Approximate 95% Confidence Limits	
c0	12404.0	2555.1	5835.9	18972.2
K	0.0361	0.0117	0.00606	0.0662

Approximate Correlation Matrix

	c0	K
c0	1.0000000	-0.9829673
K	-0.9829673	1.0000000



• **Tratamiento B-A2 ($n = 3$)**

- Datos de entrada

```
options ls=70 ps=45;
DATA f2;
INPUT TIME CUMc;
CARDS;
```

5	607
8	1279
11	2029
14	2691
21	3303
28	3812
34	4184

```
;
PROC PRINT;
PROC NLIN METHOD=MARQUARDT;
PARAMETERS c0=150 K=0.003;
KE=EXP(-K*TIME);
MODEL CUMc=c0*(1-KE);
DER.c0=(1-KE);
DER.K=c0*TIME*KE;
RUN;
```

- Datos de salida

The SAS System 85
09:31 Friday, March 14, 2008

Obs	TIME	CUMc
1	5	607
2	8	1279
3	11	2029
4	14	2691
5	21	3303
6	28	3812
7	34	4184

The SAS System 86
09:31 Friday, March 14, 2008

The NLIN Procedure
Dependent Variable CUMc
Method: Marquardt

Iterative Phase			
Iter	c0	K	Sum of Squares
0	150.0	0.00300	55971011
1	3306.0	0.0688	3641571
2	3644.1	0.0765	1709123
3	4346.2	0.0568	824775
4	4843.7	0.0506	473873
5	5631.7	0.0370	463100
6	6087.9	0.0354	314270
7	6100.5	0.0354	313868
8	6100.8	0.0354	313868



NOTE: Convergence criterion met.

Estimation Summary

Method	Marquardt
Iterations	8
Subiterations	11
Average Subiterations	1.375
R	9.342E-6
PPC(K)	6.073E-6
RPC(K)	0.000082
Object	1.485E-8
Objective	313868
Observations Read	7
Observations Used	7
Observations Missing	0

The SAS System 87
09:31 Friday, March 14, 2008

The NLIN Procedure

NOTE: An intercept was not specified for this model.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Approx Pr > F
Regression	2	55995753	27997876	446.01	<.0001
Residual	5	313868	62773.6		
Uncorrected Total	7	56309621			
Corrected Total	6	10511189			

Parameter	Estimate	Approx Std Error	Approximate 95% Confidence Limits	
c0	6100.8	1137.8	3176.2	9025.5
K	0.0354	0.0103	0.00894	0.0619

Approximate Correlation Matrix

	c0	K
c0	1.0000000	-0.9837515
K	-0.9837515	1.0000000

• TRATAMIENTO B-A2 (n = 4)

- Datos de entrada

options ls=70 ps=45;
DATA f2;
INPUT TIME CUMc;
CARDS;

5	827
8	1750
11	2819
14	3704
21	4324
28	4835
34	5287



```

;
PROC PRINT;
PROC NLIN METHOD=MARQUARDT;
PARAMETERS c0=150 K=0.003;
KE=EXP(-K*TIME);
MODEL CUMc=c0*(1-KE);
DER.c0=(1-KE);
DER.K=c0*TIME*KE;
RUN;

```

- Datos de salida

The SAS System 88
09: 31 Friday, March 14, 2008

Obs	TIME	CUMc
1	5	827
2	8	1750
3	11	2819
4	14	3704
5	21	4324
6	28	4835
7	34	5287

The SAS System 89
09: 31 Friday, March 14, 2008

The NLIN Procedure
Dependent Variable CUMc
Method: Marquardt

Iterative Phase			
Iter	c0	K	Sum of Squares
0	150.0	0.00300	95000724
1	4239.8	0.0883	4194586
2	4548.9	0.0908	2753434
3	5358.9	0.0616	1584230
4	6479.6	0.0455	962625
5	6857.8	0.0452	710932
6	6865.1	0.0451	710919
7	6864.7	0.0451	710919
8	6864.7	0.0451	710919

NOTE: Convergence criterion met.

Estimation Summary

Method	Marquardt
Iterations	8
Subiterations	10
Average Subiterations	1.25
R	1.264E-6
PPC(K)	7.977E-7
RPC(K)	9.223E-6
Object	1.95E-10
Objective	710919.1
Observations Read	7
Observations Used	7
Observations Missing	0



The SAS System 90
09:31 Friday, March 14, 2008

The NLIN Procedure

NOTE: An intercept was not specified for this model.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Approx Pr > F
Regression	2	94728457	47364228	333.12	<.0001
Residual	5	710919	142184		
Uncorrected Total	7	95439376			
Corrected Total	6	16237359			

Parameter	Estimate	Approx Std Error	Approximate 95% Confidence Limits	
c0	6864.7	1120.3	3984.9	9744.5
K	0.0451	0.0127	0.0124	0.0779

Approximate Correlation Matrix

	c0	K
c0	1.0000000	-0.9714135
K	-0.9714135	1.0000000