

78



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

DIGESTIBILIDAD DE LA MATERIA SECA Y MATERIA ORGANICA EN DIETAS INTEGRALES ELABORADAS CON ENSILADOS DE RESIDUOS SOLIDOS DE EXCRETAS PORCINAS

T E S I S
PARA LA OBTENCION DEL TITULO DE
MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA
P R E S E N T A
ROSARIO ADRIANA ZAMUDIO MIGUEL



ASESORES: MPA. LUIS CORONA GOCHI
PhD. SILVIA ELENA BUNTINX DIOS
MC. FRANCISCO CASTREJON PINEDA
MPA. SERGIO ANGELES CAMPOS

502
1502
1502

MEXICO, D. F.

JUNIO DE 2001



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS.

El mayor agradecimiento que tengo es hacia Dios por haberme dado la oportunidad de vivir y tener una madre tan especial e inigualable.

Mamá, quiero darte las gracias por ser el medio por el cual he llegado hasta donde estoy; gracias por esos días incontables en los que, a pesar de cualquier cosa, estuviste dispuesta a apoyarme, aconsejarme e incluso a reprenderme; eso me ha enseñado a luchar por lo que se quiere y, aun contra corriente, dar en cada momento el mejor esfuerzo.

Gracias también a mi padre y hermanos (José y Angélica) que, sin comprender mi carrera, me ayudaron siempre que pudieron.

César: A pesar de que el destino nos ha trazado rutas diferentes, nunca dejarás de ser mi amigo, parte de mi familia. Gracias por tu comprensión y cariño.

Quiero agradecer el apoyo que me brindaron personas como Tony, Fer, Diana, Jorge, el Dr. Troncoso, el Dr. Díaz, que, sin estar directamente relacionados con este trabajo, siempre estuvieron dispuestos a escucharme y a ayudarme. Podría seguir dando nombres, pero no quiero omitir a nadie, por ello dejo esta lista en puntos suspensivos. A todos y cada uno mil

Gracias .

Por último, debo agradecer a mis asesores la oportunidad de titulación que me dieron, así como al proyecto PAPIIT IN210997 por financiar esta investigación.

DEDICATORIA.

Este trabajo no sólo es fruto de una persona sino de todos aquellos que estuvieron detrás, pero este triunfo es muy en especial para ti mamá.

Jorge, a ti amor, por tu apoyo, no solo como amigo, novio y esposo sino por la paciencia a lo largo de esta investigación.

Los Amo.

Adriana.

CONTENIDO

	Página
Resumen	1
1 Introducción	2
1.1 Ovinocultura Nacional	2
1.2 Contaminación por excretas porcinas	2
1.3 Alternativas de utilización	4
1.4 Tratamientos de excretas.....	4
1.4.1 Tratamientos físicos	4
1.4.2 Tratamientos químicos	5
1.4.3 Tratamientos biológicos	6
1.5 Características nutricias de las excretas porcinas	8
1.6 Excretas porcinas como alternativa de alimentación de rumiantes	10
1.7 Digestibilidad: concepto y tipos	10
1.7.1 Factores que afectan la digestibilidad.....	11
1.7.2 Digestibilidad asociativa.....	14
1.8 Pruebas de digestibilidad	14
1.8.1 Predicción de la digestibilidad a partir de composición química	15
1.8.2 Digestibilidad <i>in vivo</i>	15
1.8.2.1 Métodos con indicadores	16
1.8.3 Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca	16
1.8.3.1 Técnica de Tilley y Terry	17
1.8.3.2 Producción de gas	18
1.8.3.3 Método enzimático	19
1.8.3.4 Análisis electroforético	20
1.8.3.5 Espectrofotometría refractaria infrarroja	20
1.8.4 Digestibilidad <i>in situ</i> (bolsa de nylon o dacrón)	21

1.9	Justificación	21
1.10	Hipótesis	22
1.11	Objetivos	22
2	Material y Métodos	23
2.1	Digestibilidad <i>in vivo</i> e <i>in vitro</i> del heno de alfalfa	23
2.1.1	Animales empleados	23
2.1.2	Fase de adaptación.....	23
2.1.3	Fase experimental	24
2.1.4	Análisis de laboratorio	25
2.1.4.1	Prueba de Tilley y Terry	25
2.1.5	Análisis estadístico	25
2.2	Digestibilidad <i>in vivo</i> e <i>in vitro</i> de dietas integrales con y sin ensilado de residuos sólidos de excretas porcinas.....	26
2.2.1	Elaboración del ensilado de residuos sólidos de excretas porcinas	26
2.2.2	Elaboración de las dietas integrales.....	26
2.2.3	Animales empleados	27
2.2.4	Fase de adaptación	28
2.2.5	Fase experimental	28
2.2.6	Análisis de laboratorio	28
2.2.7	Análisis estadístico	28
3	Resultados y Discusión	29
3.1	Digestibilidad <i>in vivo</i> e <i>in vitro</i> del heno de alfalfa	29
3.2	Digestibilidad <i>in vivo</i> e <i>in vitro</i> de dietas integrales elaborados con y sin ensilado de residuos sólidos de excretas porcinas	31
4	Conclusiones	37
5	Literatura citada	38

INDICE DE CUADROS

No.	Título	Página
1	Deyecciones originadas en una granja porcina	3
2	Composición nutricia promedio, en base seca (BS), de las excretas Porcinas	9
3	Composición y análisis nutricional de las dietas integrales, testigo (T1) y experimental (T2)	27
4	Análisis químico-proximal, energía metabolizable, calcio, fósforo, fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), celulosa, hemicelulosa y lignina de la alfalfa (<i>Medicago sativa</i>) utilizada en el estudio	29
5	Análisis químico-proximal, energía metabolizable, calcio, fósforo, fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) del ensilado de residuos sólidos de excretas porcinas utilizado en el estudio	32
6	Análisis químico-proximal, energía metabolizable, calcio, fósforo, relación calcio:fósforo, fibra detergente neutro (FND) y fibra detergente ácido (FDA) de las dietas integrales testigo (T1) y experimental (T2) utilizados en el estudio	33
7	Comparación de los resultados de las digestibilidades de materia seca <i>in vivo</i> e <i>in vitro</i> con los resultados de Barajas <i>et al.</i>	35

SUMMARY

Zamudio Miguel Rosario Adriana. Dry matter and organic matter digestibility of totally mixed rations using ensiled pig manure solids. (Under the supervision of MPA Luis Corona Gochi, PhD Silvia Elena Buntinx Dios, MC Francisco Castrejón Pineda and MPA Sergio Angeles Campos).

The objective of the experiment was to determine the *in vivo* dry matter (DM) and organic matter (OM) digestibility of totally mixed rations (TMR) with and without ensiled pig manure solids. For the *in vivo* part of the study, 10 Pelibuey rams were housed in metabolic crates. For the *in vitro* part of the study, the Tilley and Terry technique was used. Two rations were mixed, one without ensiled pig manure solids (T1; 85.1% DM and 93.8% OM, 11.6% crude protein (CP) and 2.65 Mcal/Kg metabolizable energy (ME), dry basis) and one with 20% ensiled pig manure solids (T2; 69.7% DM and 91.6% OM, 11.4% CP and 2.64 Mcal/Kg ME, dry basis). *In vivo* DM digestibility for T1, $60.0 \pm 4.5\%$, was slightly better ($P < 0.05$) than for T2, $56 \pm 6\%$, due to the fact that the animals on T2 consumed more feed (1.15 ± 0.14 Kg, $P < 0.05$) than the animals on T1. No differences were observed in *in vivo* OM digestibility (T1, $59.0 \pm 4.8\%$; T2, $56.8 \pm 5.2\%$; $P > 0.05$). *In vitro* digestibilities were, respectively, for T1 and T2, $75.7 \pm 2.1\%$ and $70.7 \pm 0.4\%$ for DM and $74.7 \pm 2.2\%$ and $70.4 \pm 2.3\%$ for OM, higher than the *in vivo* measurements, an indication that adjustments must be made to the Tilley and Terry technique when analyzing TMR. It is concluded that ensiled pig manure solids do not decrease OM digestibility of TMR and can be used safely in sheep feeding programs at a 20% inclusion rate.

RESUMEN

Zamudio Miguel Rosario Adriana. Digestibilidad de la materia seca y materia orgánica de dietas integrales elaboradas con residuos sólidos de excretas porcinas. (Bajo la asesoría de MPA Luis Corona Gochi, PhD Silvia Elena Buntinx Dios, MC Francisco Castrejón Pineda y MPA Sergio Ángeles Campos).

El objetivo del presente trabajo fue determinar la digestibilidad *in vivo* e *in vitro* de la materia seca (MS) y materia orgánica (MO) de dietas integrales elaboradas con y sin ensilado de residuos sólidos de excretas porcinas (RSEP). Para la prueba *in vivo* se emplearon 10 ovinos machos Pelibuey, alojados en jaulas metabólicas. Para la prueba *in vitro* se utilizó la técnica de Tilley y Terry. Se elaboraron dos dietas integrales, sin ensilado de RSEP (T1; 85.1% MS y 93.8% MO, 11.6% PC y 2.65 Mcal/Kg EM en base seca) y con 20% de ensilado de RSEP (T2; 69.7% MS y 91.6% MO, 11.4% PC y 2.64 Mcal/Kg EM en base seca). La digestibilidad *in vivo* de la MS de T1, $60.0 \pm 4.5\%$, fue ligeramente mayor ($P < 0.05$) a la de T2, $56 \pm 6\%$, debido a que los animales en T2 consumieron más alimento (1.15 ± 0.14 Kg), ($P < 0.05$) que los animales en T1 (1.04 ± 0.08 Kg). En la digestibilidad *in vivo* de la MO no se observaron diferencias (T1, $59.0 \pm 4.8\%$; T2, $56.8 \pm 5.2\%$), ($P > 0.05$). Las digestibilidades *in vitro* fueron, respectivamente, para T1 y T2 de $75.7 \pm 2.1\%$ y $70.7 \pm 0.4\%$ para MS y de $74.7 \pm 2.2\%$ y $70.4 \pm 2.3\%$ para MO, valores superiores a los obtenidos *in vivo*, lo que indica que la técnica de Tilley y Terry debe ajustarse cuando se analicen dietas integrales. Se concluye que los ensilados de RSEP no disminuyen la digestibilidad de la MO de las dietas integrales y pueden utilizarse sin problemas en la alimentación de los ovinos a niveles de inclusión del 20%.

1 INTRODUCCION

1.1 Ovinocultura nacional

La producción ovina en nuestro país sólo representa del 1 al 2% del producto interno bruto, por lo que no se le ha dado mayor importancia. Esto debe de reconsiderarse, ya que, aproximadamente, 1.400.000 cabezas son importadas anualmente de Nueva Zelanda y Australia, cantidad que en teoría debería producirse en el país. Tal situación puede lograrse incorporando tecnologías a las empresas pecuarias, para así disminuir los costos de producción y poder competir con los mercados internacionales (1, 2).

Los costos por alimentación son, en sistemas de producción para rumiantes, los más elevados, ya que representan hasta un 60% del total. Considerando que un animal rumiante puede utilizar alimentos de bajo valor nutritivo y convertirlos en carne, se han buscado nuevas alternativas de alimento como los llamados no convencionales, que llevan a reducir este costo. Una fuente de proteína que contiene alrededor de 50% de proteína verdadera y 50% de nitrógeno no proteico (NNP) del total del contenido proteico, que los ovinos pueden transformar y aprovechar como proteína microbiana, es la excreta animal. En ovinos y bovinos se han llevado a cabo estudios del aprovechamiento de excretas de aves (pollinaza y gallinaza), evaluando principalmente el comportamiento productivo. Actualmente, la utilización de excretas de cerdo en la alimentación de rumiantes y del mismo cerdo se está estudiando (2,3).

1.2 Contaminación por excretas

El manejo de los desechos de una granja porcina sigue siendo uno de los problemas fundamentales en este tipo de empresas pecuarias, debido a que son difíciles de manejar y provocan altos índices de contaminación del aire por evaporación de gases y del agua al haber infiltraciones. Estos desechos son reservorio de agentes patógenos para la pira (como *Salmonella ssp.*) por lo tanto su reutilización en la alimentación de la misma especie, sin un tratamiento previo debe ser limitada; además su acumulación es un serio problema por la proliferación de moscas (3,4,5). De ahí que este material haya sido utilizado principalmente como fertilizante del suelo. Desafortunadamente, a principios de

los 80's algunos agricultores lo usaron en exceso como abono y cuando las excretas se vierten directamente en el suelo, su acumulación excesiva, sobre una superficie pequeña (estercoleros o lagunas de fermentación), y la presencia de lluvia y otras aguas residuales, originan que se produzcan infiltraciones de nitratos, nitritos y fosfatos, que al llegar a los mantos acuíferos evitan que se lleven a cabo los procesos naturales de desintegración.

Esto contribuye a la proliferación de moscas y otros insectos que participan en diversos problemas de salud, favoreciendo, además, la migración de ciertas especies de aves e insectos que integran el nicho ecológico predominante en la zona (4,5,6).

Algunas granjas utilizan la incineración como medida sanitaria, liberando grandes cantidades de gases nocivos, como amoniaco, metano y gas carbónico y pequeñas cantidades de ácido sulfúrico, a la atmósfera (3,5). Por razones como éstas, se han buscado nuevas alternativas para tratar de disminuir el problema que representa la contaminación causada por excretas.

Cada etapa productiva dentro de una granja porcina genera cierta cantidad de deyecciones (las cuales están integradas por heces y orina), como se muestra a continuación (Cuadro 1) (5):

Cuadro 1. Deyecciones originadas en una granja porcina.

ETAPA	PESO VIVO Kg	HECES Y ORINA Kg/día	MATERIA SECA Kg
Destete	15	1.0	0.09
Crecimiento	30	1.8	0.16
Finalización	70	4.3	0.39
Finalización	90	5.7	0.51
Hembras gestantes	130	4.2	0.38
Hembra y camada	170	15.1	1.36
Verracos	160	5.3	0.48

Se puede estimar que, en promedio, un cerdo elimina durante el día alrededor de 5.3 Kg de excretas, de las cuales solo 480 gramos son material sólido; por lo tanto, contiene un 9.05% de sólidos totales y un 90.95% de humedad (5).

1.3 Alternativas de utilización de excretas porcinas

Actualmente se han hecho tratamientos a este material, separando las porciones líquida y sólida; la primera se emplea para regar los campos de cultivo, generar biogás, producir algas o se puede destinar a estanques para patos o peces, como la tilapia (3, 4,6,7). La materia sólida es utilizada como composta en horticultura, como mejorador de suelos y, después de algún tratamiento, puede ser utilizada en las dietas de rumiantes y, en ocasiones, de cerdos (4,6,7).

1.4 Tratamientos de excretas porcinas

Las excretas porcinas pueden ser tratadas por tres métodos: *físicos*, *químicos* y *biológicos*. Sin embargo, la principal desventaja que presentan estos procesos de transformación es la inversión elevada necesaria para obtener cualquiera de los productos finales, lo cual ha limitado su adopción como parte de los sistemas de producción de las granjas (5). Los tratamientos de las excretas porcinas se realizan para:

- (i) convertirlas en ingredientes alimenticios, conservando sus características nutricias (1, 4) y disminuyendo el riesgo de transmisión de enfermedades.
- (ii) hacerlas más palatables para los animales.
- (iii) conservarlas por más tiempo, removiendo física y químicamente los elementos que pueden causar olores o contaminación del agua (8).

1.4.1 Tratamientos físicos

El tratamiento físico consiste en la separación de líquidos y sólidos mecánicamente o por sedimentación, para recuperar el alimento no digerido y deshidratarlo para poder ser almacenado. En caso de que la cerdaza se emplee para la realimentación del cerdo o de los rumiantes, permite no sólo que el productor aumente la utilización de los nutrientes de la ración, sino que también disminuyen los peligros de contaminación del medio ambiente (2,3,7).

Separación de sólidos: los separadores de cascada y los tornillos de prensa (8).

Ventajas: Evita el sobrellenado de canales de riego, de lagunas o de cualquier estructura de almacenamiento; hay una recuperación de 25 a 30% de sólidos y con ello 20 – 25% de nutrientes; reduce la demanda bioquímica de oxígeno en 15-30%; disminuye los sólidos suspendidos de un 20 a 40% (2,8,9).

Desventajas: Los sólidos obtenidos deberán ser tratados para disminuir su olor y la presencia de moscas; los separadores requieren de mantenimiento; hay pérdida de nutrientes en el líquido no utilizado; los costos de inversión y mantenimiento son elevados (2,8,9).

Deshidratación y secado: método de mayor utilización en México. Este método puede ser natural o artificial.

a) **Natural:** consiste en exponer las excretas a los rayos solares en un terreno amplio, localizado a un lado de la granja, para ser removido periódicamente.

Ventajas: fácil almacenamiento e incorporación a la dieta; baja inversión.

Desventajas: pérdida de 35 a 40% de nitrógeno; destrucción parcial de patógenos; gran liberación de gases, generación de insectos y malos olores.

b) **Artificial:** la desecación se realiza a altas temperaturas.

Desventajas: existe contaminación del aire durante el proceso; se requiere de equipo que controle el olor durante el proceso, y los costos de energía eléctrica son elevados (2,3,8).

1.4.2 Tratamientos químicos

Los tratamientos químicos consisten en agregar agentes bactericidas biodegradables a las excretas de cerdo para disminuir bacterias patógenas presentes y, posteriormente, darles un tratamiento térmico en un tiempo corto (2, 3,4,7,8). Estos tratamientos se utilizan como una alternativa después de los tratamientos aerobios y anaerobios, cuando el estiércol se debe recircular inmediatamente.

Desventajas: requiere de manejo diario, mecanización y el empleo de productos químicos que encarecen el proceso.

1.4.3 Tratamientos biológicos

Los tratamientos biológicos incluyen lagunas de oxidación, lagunas anaeróbicas y ensilajes. Estos últimos, preservan los nutrimentos por fermentación anaerobia láctica. Otra alternativa, es la fermentación microbiana por métodos aeróbicos y anaerobios, que aumenta el porcentaje de nitrógeno de las células simples y la calidad de la proteína (6,7). La cerdaza es utilizada como un ingrediente más en la nutrición animal, principalmente por su elevado contenido de minerales, aminoácidos y nitrógeno no proteico (NNP), los cuales representan su mayor riqueza. Sin embargo, su baja concentración de energía hace necesaria la adición de una fuente de carbohidratos de fácil degradación, como melaza y grano molido, al ensilar la excreta (2).

Lagunas anaerobias: el proceso biológico se lleva a cabo sin oxígeno.

Ventajas: reduce los olores; elimina a los patógenos; el agua residual se almacena hasta su aplicación.

Desventajas: disminuye los nutrimentos; se requiere que los residuos permanezcan por varios días para que se realice su actividad bacteriológica, además de que necesita de espacio (2,3,8,9).

Lagunas aerobias: aquí se mantiene la oxidación con un ciclo de fotosíntesis. El estiércol diluido es conducido a una fosa, alrededor de la cual se instalan aireadores que inyectan oxígeno a los residuos líquidos con la finalidad de que sufran una oxidación (3,8,9).

Desventajas: disminuye los nutrimentos; se requiere que los residuos permanezcan por varios días para que se realice su actividad bacteriológica, se elevan los costos por el proceso (3,8)

Ensilaje: en bovinos, en los últimos 10 años, se ha probado la inclusión de excretas frescas de cerdo o ensiladas con algún otro subproducto agrícola. Estas investigaciones han comprobado que el proceso de ensilaje cambia de manera significativa la concentración de carbohidratos solubles presentes en las mezclas, pues la fermentación láctica altera algunas de las características sensoriales, favoreciendo con ello un cambio en el olor y "sabor" de las excretas, haciéndolas más apetecibles para el ganado. La finalidad es transformar una parte de los carbohidratos solubles (aproximadamente 8%) en ácidos grasos de cadena corta, principalmente ácido láctico, lo que favorece el

consumo y posterior digestión del producto final (2, 5). El ácido láctico, producido durante este proceso, actúa como un poderoso antiséptico sobre algunos de los microorganismos patógenos no esporulados presentes en las excretas y en los subproductos que se utilizan para mezclar con las excretas (2, 3,5,8).

La cantidad de humedad recomendada para ensilar forrajes es aproximadamente del 70% (10). La cerdaza se puede ensilar con cualquier tipo de forraje: fresco, pajas, rastrojo, frutas, etc. Cuando se utilizan materiales fibrosos con baja cantidad de carbohidratos fermentables, los niveles de cerdaza varían desde 10 hasta 30% y los forrajes, desde 40 hasta 60%.

Empleando ensilados de excretas porcinas es necesario adicionar 20-30% de melaza y, en algunas ocasiones, de 1 a 3% de urea para aumentar el contenido de nitrógeno en la ración.

Para un buen ensilado se requiere compactar bien a los ingredientes, ya sea con palas o aplanadoras, para garantizar la anaerobiosis necesaria para la conservación de los nutrimentos y elementos originales contenidos al inicio del proceso. Se han reportado pérdidas en el contenido de proteína a temperaturas mayores de 25°C (2, 11).

Los ensilados se pueden realizar en silos tipo bunker o de trinchera, de mampostería recubierta con cemento o cualquier otro tipo de material impermeable, o bien dentro de bolsas de plástico en el campo, cuando no se cuenta con las instalaciones adecuadas, lo que se conoce como *plastisilo* (9).

Cuando se utiliza cerdaza como ingrediente en la alimentación, lo importante es reducir el riesgo de transmisión de enfermedades, tanto en animales receptores como en la población consumidora de carne. De las 100 zoonosis que se conocen, algunas se pueden transmitir por la eliminación de microorganismos que se encuentran comúnmente en las excretas animales, siendo más frecuentes las bacterias productoras de: brucelosis, ántrax, leptospirosis y tuberculosis bovina (2, 8).

1.5 Características nutricias de las excretas porcinas

El estiércol consiste, principalmente, de material orgánico biodegradable (ingredientes alimenticios no digeridos y no absorbidos, productos catabólicos del metabolismo, secreciones, células microbianas y descamaciones propias del intestino). Después de ser excretadas continúa su degradación, debido a la acción microbiana, y de esta manera se producen gases como amoníaco, ácido sulfhídrico, bióxido de carbono, metano y olores que puede generar una contaminación del agua y el suelo (8).

El contenido nutricional de las excretas porcinas presenta grandes variaciones en su composición, de acuerdo a la composición de la dieta, a su método de obtención o procesamiento (7). La composición promedio de las excretas de cerdo se presenta en el cuadro 2.

En general, los cerdos excretan el 80% del nitrógeno y fósforo y el 90% del potasio de la dieta, por lo que las excretas constituyen una fuente importante de nitrógeno y minerales para las plantas y animales rumiantes (4). Además, entre el 5 y el 30 % de la energía bruta en las heces proviene directamente del alimento ingerido por el cerdo (3,5,11). Se considera que las excretas porcinas son ricas en fibra bruta y paredes celulares, pues se han reportado cantidades considerables de fibra detergente neutro (FND) y fibra detergente ácido (FAD), además de mostrar un alto contenido de cenizas (7).

Una de las desventajas que se le han encontrado a las excretas porcinas es que contienen altas cantidades de compuestos tóxicos. Se han encontrado diferentes residuos de drogas, como antihelmínticos, antibióticos, nitrofuranos, sulfonamidas, así como cobre y arsénico (8,12). En el caso de los borregos, el material traza más problemático es el cobre, ya que una concentración superior a 25 mg/Kg (MS) de excretas en la dieta de estos animales causa toxicidad (8,13). Se ha reportado niveles de cobre de 1,600 mg/Kg de excretas de cerdo cuando se utiliza como promotor de crecimiento en dietas de cerdo. Por ello, siempre que se empleen los residuos sólidos de excretas porcinas como ingrediente, deberá ser analizada su composición mineral para evitar efectos tóxicos y desbalances nutricios (8,9,13).

Cuadro 2. Composición nutricia promedio, en base seca (BS), de las excretas porcinas.

Nutriente	Promedio	Autores
Materia Seca %	49.90±23.49	Iñiguez, Castrejón, Molina, Ramírez, Van Dyke y col., Toledo
Proteína Bruta %	21.66±8.65	Iñiguez, Castrejón, Molina, Orr et. al., Toledo, Peña R.
Proteína Verdadera %	9.94±4.95	Kornegay y col., Van Dyke y col.
Fibra Bruta %	17.59±5.01	Castrejón Molina, Kornegay et. al., Iñiguez Smith and Weheler Van Dyke y col., Toledo, Peña R.
Extracto etéreo %	4.54±2.40	Iñiguez, Campabandal, Castrejón, Molina, Kornegay y col. Van Dyke y col., Toledo, Peña R.
Cenizas %	12.10±8.03	Iñiguez, Campabandal, Castrejón, Molina, Kornegay y col., Toledo, Peña R.
Extracto libre de nitrógeno %	39.52±7.19	Iñiguez, Campabandal, Molina, Toledo
Calcio %	2.70±1.32	Iñiguez, Campabandal Kornegay y col., Orr et. al., Smith y Weheler
Fósforo %	1.60±0.75	Iñiguez, Campabandal, Kornegay y col., Orr et. al., Smith y Weheler
Magnesio %	0.73±0.32	Campabandal, Kornegay y col., Smith y Weheler
Sodio %	0.35±0.10	Iñiguez, Campabandal, Orr et. al.
Potasio %	1.40±0.30	Iñiguez, Campabandal, Kornegay y col., Orr et. al., Smith y Weheler
Cobre, ppm	25.23±23.43	Iñiguez, Campabandal, Kornegay y col., Orr et. al.
Zinc, ppm	516.00±12.1	Campabandal, Kornegay y col., Orr et. al.
Energía bruta KJ/g	18.94±3.52	Iñiguez, Van Dyke y col.
Fibra detergente neutra %	46.88±20.11	Iñiguez, Campabandal, Ramírez, Van Dyke y col., Toledo
Fibra detergente ácida %	21.94±11.02	Iñiguez, Campabandal, Ramírez, Van Dyke y col., Toledo
Lignina %	10.64±15.50	Iñiguez, Campabandal, Ramírez, Toledo
Celulosa %	15.87±8.96	Iñiguez, Campabandal, Castrejón, Ramírez, Toledo
Digestibilidad in vivo de la MS en rumiantes %	40.00±15.56	Iñiguez Tinnimit y col.
Digestibilidad in vivo de la Materia orgánica %	29.00	Iñiguez
Digestibilidad in vivo de la MS en cerdos, %	49.00	Iñiguez

Iñiguez, Campabandal, Castrejón, Molina, Kornegay y col., Van Dyke y col., Toledo, Peña (2)

El almacenamiento de la cerdaza es un factor importante que afecta su valor nutritivo, produciendo pérdidas que dependen del grado de humedad de la cerdaza, del tiempo de almacenamiento y de la temperatura ambiental de la zona. El grado de humedad es el factor que más afecta la calidad de la cerdaza: a mayor humedad, se incrementa la descomposición, la excreta se calienta y existe un bajo o nulo consumo. El nivel óptimo

para almacenarla debe ser entre 10 y 12% de humedad (8,14). El lugar de almacenamiento se debe diseñar para retener una cantidad fija de excretas por un periodo específico y después de utilizar, lo almacenado completamente y conforme sea necesario (13).

1.6 Excretas porcinas como alternativa de alimentación en rumiantes

La reincorporación continua de los desechos fecales de los animales a la dieta de los mismos es conocida como reciclaje. El resultado que ha tenido este tipo de manejo de estiércol en diferentes especies, es la reducción en los costos de alimentación animal y una disminución en la competencia por los granos que se destinan para el consumo humano (3,8).

Las excretas porcinas, así como la pollinaza y gallinaza, se emplean como complemento en la alimentación de porcinos y rumiantes. Se adicionan deshidratadas y su participación en la dieta oscila desde un 10% hasta un 50%, mezcladas con subproductos agrícolas (tales como rastrojo o pajas de cereales), forrajes, granos y melaza; además, se mejora el consumo por el animal, disminuyendo los costos de alimentación (7). Las formas en que se han incluido las excretas en las raciones son las siguientes: frescas (recolectadas con pala de los corrales) y proporcionadas directamente en los comederos, junto con los ingredientes mencionados anteriormente, o deshidratadas, separando la fracción sólida y líquida, empleando principalmente la fracción sólida mezclada con otros ingredientes (4,7). Se recomienda proporcionar al ganado bovino productor de carne entre un 40 y 60% como excretas porcinas en la ración, obteniendo ganancias de peso de hasta 100 g diarios. Los rendimientos obtenidos en canal han fluctuado entre los 57.5 y 58.75%, obteniéndose un mayor marmoleo (11).

1.7 Digestibilidad: concepto y tipos

El nivel de producción de los animales está determinado principalmente por la concentración de energía de la dieta y por el suficiente aporte de proteína, minerales y vitaminas, aun cuando se ve afectado por la cantidad de alimento consumido y digerido y

por la eficiencia de utilización de los productos de la digestión (5,15). Por lo tanto, además de conocer la composición química de los alimentos, es necesario saber su digestibilidad, para así determinar cuánto puede o no ser aprovechado por los animales.

Para que un alimento pueda ser absorbido por el tracto digestivo y utilizado por el organismo debe sufrir cambios a través de la digestión. La digestión es el proceso por el cual los alimentos consumidos son transformados en forma mecánica y química en compuestos más sencillos (15). Por su parte, la desaparición del alimento del rumen se debe a dos procesos simultáneos: **degradación y pasaje** (15,16).

Digestibilidad. Se define como la medición de la cantidad de nutrientes que después de pasar por el tracto digestivo no aparece en las heces y, por lo tanto, ha sido absorbida una vez atacada por alguna enzima digestiva o desintegrada por la flora microbiana. (4,7,10,15). Existen dos formas de medir la digestibilidad (6,7,15):

1) Digestibilidad aparente, que es aquella fracción de la dieta o ingesta que no aparece en las heces y se le llama "aparente" porque las heces contienen, además de alimento no digerido, algunos productos de desecho del propio organismo, como son los residuos de bilis y jugos digestivos, células muertas, moco de las membranas que recubren el tubo digestivo, así como bacterias vivas y muertas. La digestibilidad aparente (D.A.) se calcula de la siguiente manera:

$$\text{D.A. \%} = ((\text{consumo del nutriente} - \text{nutriente en heces}) / \text{consumo del nutriente}) * 100$$

2) Digestibilidad real o verdadera, que es aquella porción del consumo dietético que se absorbe en el tubo digestivo y que no incluye ninguna contribución de otras fuentes del organismo.

1.7.1 Factores que afectan la digestibilidad

Los factores que pueden afectar la digestibilidad pueden ser intrínsecos del alimento y de su procesamiento o bien, pueden estar relacionados con los animales o con particularidades propias del experimento (6,7,10):

♦ *Nivel de alimentación y consumo:* Indica la cantidad comparativa de nutrimentos que recibe un animal con referencia a los requerimientos para su mantenimiento, observándose una mayor digestibilidad cuando el consumo de alimento cubre únicamente las necesidades de mantenimiento, tanto en ovinos como en bovinos. La digestibilidad disminuye al aumentar el consumo debido a que se incrementa también la velocidad de paso a través del tracto gastrointestinal (6,7), lo cual acorta el tiempo que el material alimenticio está expuesto a la acción de las enzimas. Asimismo, los resultados de experimentos muestran un descenso considerable en la digestión cuando el nivel de alimentación es muy bajo (11) y esto se debe a que las sustancias de origen endógeno representan un mayor porcentaje en las heces que cuando el consumo es elevado, pues la producción de secreciones y la descamación celular son relativamente constantes (6). Cuando la regulación del consumo voluntario de materia seca del animal está controlada por el llenado del rumen (regulación física), los procesos que ocurren a nivel ruminal son los más importantes en la determinación de la eficiencia del animal para utilizar el alimento consumido (16). Otro factor que puede afectar el consumo, y con ello la digestibilidad, es la palatabilidad de los alimentos (sabor y textura) (10).

♦ *Composición del alimento:* La cantidad y calidad de nutrimentos específicos y la relación que entre ellos guardan en un alimento dado determinan la digestibilidad. Por ejemplo, la variación en la composición química de los granos es mínima de una muestra a otra, por lo que la digestibilidad tampoco va a variar mucho; sin embargo, los forrajes frescos, ensilados o henos presentan una alta variación y, por consiguiente, su digestibilidad no es constante (6,7,10). En los forrajes, los contenidos celulares, principalmente carbohidratos solubles y proteínas, se digieren rápidamente en el rumen, sin embargo altos contenidos de grasa o de carbohidratos altamente solubles provocan una disminución en la digestibilidad de la pared celular y de la proteína (6,7,10).

La dieta es el principal factor que determina la cantidad y tipo de microorganismos que se encuentran en el rumen y, por lo tanto, el grado de digestión de los nutrimentos dietarios. Por ejemplo, la alimentación con dietas altas en concentrados, con un elevado contenido de carbohidratos fermentables, reduce el pH ruminal y causa un cambio en la población microbiana, aumentando los microorganismos amilolíticos y disminuyendo los celulolíticos (5). Por otro lado, la digestibilidad del alimento se reduce cuando la actividad de la microflora ruminal está por debajo de lo óptimo y esto puede deberse a una deficiencia de

minerales (7). La máxima fermentación ruminal se caracteriza por un óptimo nivel de eficiencia microbiana, acompañado de una elevada digestión de la materia seca, lo que depende de la cantidad y rango de la proteína y energía suministrada en la dieta.

♦ *Utilización de antibióticos:* Las tetraciclinas causan una reducción en la digestibilidad de materia seca al eliminar cierto grupo de bacterias presentes a nivel ruminal (10). Los antibióticos poliéter carboxílicos, denominados ionóforos, como la monensina, incrementan la digestibilidad de la materia seca. En dietas a base de forrajes, la adición de ionóforos aumenta la digestibilidad de la fibra debido a una reducción en la tasa de pasaje ruminal (17,18)

♦ *Procesado de alimento:* Algunos de los procesos de acondicionamiento que sufren los alimentos modifican su grado de utilización. Entre los más importantes está la molienda de granos, que, en general, aumenta el potencial de digestión, pues cuando los granos no son molidos o masticados, pasan por el tracto gastrointestinal sin ser digeridos (6,7,10). El procesamiento físico se emplea con el objetivo de incrementar la digestibilidad del almidón, pero la respuesta ha sido variable (11). La digestibilidad ruminal incrementa al aumentar el área de actividad enzimática; sin embargo, la digestibilidad se disminuye al reducir el tiempo de retención y minimizar la longitud de exposición a enzimas microbianas.(11). El secado al sol o por otros métodos, en los que se utilizan temperaturas inferiores a 50°C, aparentemente no afecta la digestibilidad; temperaturas mayores tienden a disminuirla (6).

♦ *Tratamientos químicos.* Los más utilizados en alimentos para rumiantes son el tratamiento de granos de cereales con formaldehído y el tratamiento de subproductos de cereales con álcalis. El formaldehído no permite la fermentación rápida del almidón en el rumen y disminuye la digestibilidad de la materia seca en el rumen y del tracto digestivo total. El tratamiento alcalino de subproductos de cereales incrementa la digestibilidad a lo largo del tracto digestivo del alimento al romper las uniones de los componentes de la pared celular con lignina (19).

♦ *Especie animal:* En las técnicas de digestibilidad se emplean diferentes especies animales: vacas adultas, vaquillas, borregos, cabras, caballos y cerdos. Sin embargo, es importante considerar las diferencias entre especies. Por ejemplo, la digestión de granos

es más eficiente en ovinos que en los bovinos y el tiempo de digestión de los alimentos difíciles de digerir es menor en vacas y mejor que en ovinos. Dentro de la misma especie, las diferencias relacionadas con el sexo y el estado fisiológico pueden causar variación. En diversos estudios se han encontrado diferencias en las variables ruminales, asociada con la edad, gestación y etapa de lactación, debido principalmente a la variación en el consumo. Muchas de estas diferencias pueden deberse a la relación entre el tipo de dieta que se proporciona y el estado fisiológico del animal, lo cual puede afectar otros factores ruminales además de la digestión (5, 7).

1.7.2 Digestibilidad asociativa

Se designa con este nombre a la influencia que puede tener un nutrimento determinado sobre la digestibilidad de otros nutrimentos o de la dieta total. Así, por ejemplo, se menciona que la digestibilidad de la dieta disminuye cuando se incrementa el porcentaje de concentrado. Cuando un alimento con coeficiente de digestibilidad bajo se mezcla con un alimento con coeficiente de digestibilidad alto, la digestibilidad de esta mezcla es generalmente diferente al coeficiente de digestibilidad promedio de los alimentos en la mezcla. Esto es lo que se conoce como efecto asociativo, el cual puede ser negativo o positivo (5).

La combinación de alimentos groseros diversos (henos, forrajes frescos, ensilados, etc.) no produce grandes variaciones en el coeficiente de digestibilidad, mientras que la combinación de forrajes y granos puede ocasionar que se presenten efectos asociativos (6,7,10).

1.8 Pruebas de digestibilidad

Las pruebas de digestibilidad se utilizan para determinar la proporción de nutrimentos que se encuentran en un alimento y que pueden absorberse por el tracto digestivo (6). Desgraciadamente, no es posible realizar pruebas de digestibilidad con todos los alimentos y todas las combinaciones que se emplean en la preparación de las raciones,

debido a que requieren de una elevada inversión, además de que tampoco ilustran sobre los procesos intermedios (12).

El análisis químico proximal es el punto de partida para determinar el valor nutritivo indirectamente de los alimentos, y el valor efectivo de las sustancias ingeridas depende del provecho que de ellas pueda obtener el cuerpo animal. En este respecto, la primera consideración es la digestibilidad, pues las sustancias no digeridas no pueden ser asimiladas por el organismo (12).

1.8.1 Predicción de la digestibilidad a partir de la composición química:

En principio, el uso de las fracciones químicas para predecir la digestibilidad de los alimentos es una asociación estadística entre la concentración de la fracción química en un alimento y la digestibilidad del alimento *in vivo*. Esta asociación puede ser una simple correlación o una relación directa causa-efecto. Los componentes de la pared celular más comúnmente utilizados para predecir la digestibilidad son: fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y lignina (5).

La ventaja del uso de las ecuaciones basadas en los índices químicos es que la determinación de los componentes químicos es simple, rápida y relativamente barata. La desventaja es que esta metodología no es precisa para medir las variables que determinan la variación en la digestibilidad (11).

1.8.2 Digestibilidad *in vivo*.

Para medir la digestibilidad total, es decir, a lo largo del tracto digestivo, sin diferenciar la digestibilidad ruminal de la intestinal, se realiza el siguiente procedimiento: los animales se alimentan con una dieta de composición conocida por varios días, generalmente cinco a siete, durante los cuales se recolectan las heces y, posteriormente, éstas se analizan para el nutrimento cuya digestibilidad quiera averiguarse. Para el cálculo aritmético se utiliza la fórmula de digestibilidad aparente ya descrita (6,10,20).

Cuando se quiera medir la digestibilidad de los nutrimentos a nivel ruminal o intestinal, se requerirá de animales canulados en el rumen, abomaso, duodeno y/o ileon. La digestibilidad así determinada es generalmente más exacta, ya que mide la situación real. Sin embargo, tiene las desventajas de ser costosa, de necesitar de mucho tiempo y de ser poco útil en evaluaciones de rutina, además de estar sujeta a variaciones inherentes al animal (21).

1.8.2.1 Métodos con indicadores o marcadores

Cuando no sea posible o incómodo recuperar la totalidad de las heces, se puede recurrir a los marcadores. Existen marcadores internos como la lignina y cromógenos vegetales, que se encuentran presentes en el alimento, pero que pueden llegar a digerirse en cierta medida. Los indicadores externos son sustancias químicas, como el óxido de hierro o cromo y cromo-EDTA, que se agregan al alimento o se les suministran a los animales en cápsulas o soluciones en cantidades conocidas (15). Se ha trabajado con varios elementos indigestibles, como erbio, yterbio y cerio (tierras raras), para estimar la producción de heces y la tasa de pasaje. El inconveniente de estos métodos es el costo del equipo para hacer las determinaciones de la concentración del elemento en las heces y en los alimentos marcados (10).

Cuando se utilizan marcadores, la producción de heces se calcula como sigue:

$$\text{Produccion fecal} = \text{marcador administrado (mg/d)}/\text{marcador en las heces (mg/g)}$$

Una vez obtenido el dato de la producción fecal diaria, la digestibilidad aparente se estima según la fórmula ya descrita

1.8.3 Digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS)

Para estimar la digestibilidad ruminal e intestinal de los alimentos bajo el procedimiento *in vitro* se han propuesto varios procedimientos:

1.8.3.1 Técnica de Tilley y Terry:

Ha sido el método más comúnmente utilizado para predecir la digestibilidad de los nutrientes; sin embargo, dicho procedimiento ha sufrido modificaciones con la finalidad de obtener la mejor estimación de la digestibilidad. Este método, aunque es más rápido que el método *in vivo*, depende de la exactitud con que refleje los acontecimientos que ocurren en el rumen. Es útil, en general, para evaluar uno de los componentes (por ejemplo, calidad del alimento), pero de menor valor si se pretende reproducir un proceso dinámico (5,21,22). La técnica depende de varios factores, incluyendo la dilución del inóculo ruminal, el tipo de amortiguador empleado, el tamaño de la partícula de la muestra, el tipo de dieta ofrecida al animal, incluso el tipo de molino utilizado para triturar la muestra (22).

El procedimiento de digestibilidad *in vitro* se basa en su primera etapa en la fermentación de alimento en un sistema cerrado. La fermentación es producida por microorganismos presentes en el líquido ruminal utilizado como inóculo, que se diluye (20:80) en solución salina, saliva artificial o varios amortiguadores. Se recomienda obtener líquido ruminal de varios animales y que, además, éstos se alimenten con el mismo tipo de dieta que se va a medir, con la finalidad de que los microorganismos presentes sean capaces de digerir de manera normal el alimento. La actividad de los microorganismos recolectados para el ensayo *in vitro* puede variar, dependiendo del tiempo de recolección después de la alimentación, de la dieta del animal donador y de la especie, por lo que se sugiere que el tiempo óptimo de colección de líquido ruminal sea de 8 a 12 horas después de la alimentación, porque en este tiempo se encuentra la máxima actividad de enzimas fibrolíticas (11,22). La solución amortiguadora tiene la función de mantener el pH alrededor de 6.9. En esta etapa la velocidad de la digestión y su duración pueden verse disminuidas por la concentración microbiana pues, comparada con la concentración microbiana del rumen de un animal vivo, ésta es menor (20,21,22). Se han hecho algunos intentos con el fin de aumentar la concentración microbiana, pero han sido inútiles, debido a que hay una rápida acumulación de los productos finales y, subsecuentemente, decrece el pH.

En la segunda etapa se lleva a cabo una digestión con pepsina en medio ácido, añadiendo HCl. El principal objetivo en esta etapa es eliminar la proteína microbiana existente, dejando únicamente la materia seca no digerida. Esta etapa trata de simular lo que sucede en el abomaso.(10,11).

La digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) no considera la digestión intestinal y no se toma en cuenta la excreción endógena producida por el animal (10). Después de obtener valores de digestibilidad, éstos se corrigen por medio del uso de ecuaciones de regresión, relacionando los valores obtenidos de digestibilidad *in vivo* e *in vitro* de un juego grande de muestras (11).

La mayor ventaja de este método es que es menos susceptible a los factores que afectan la estimación de la digestibilidad a partir de los índices de composición química. La gran desventaja es que la técnica requiere de animales donadores de líquido ruminal, lo que implica costos quirúrgicos y cuidados de los animales (11).

1.8.3.2 Producción de gas.

La fermentación de carbohidratos por los microorganismos ruminales produce ácidos grasos volátiles, CO₂, CH₄ y trazas de H₂, por lo tanto, la medición *in vitro* del gas producido puede ser utilizada para el estudio de la tasa y grado de digestión de los alimentos. Este método requiere de un inóculo o medio con poca energía fermentable, para que la acumulación de gas sea baja en la fermentación control (22). Existe una correlación entre la producción de gas y la desaparición de FDN ($r = 0.99$) y entre la producción de gas y la desaparición de MS ($r = 0.95$) (7). Sin embargo, algunos autores sugieren que bajo condiciones en las cuales los alimentos no son limitantes, la producción de gas es una medición directa del crecimiento microbiano, pero las proporciones molares de ácidos grasos volátiles modifican la producción de gas, por lo que es necesario hacer correcciones (21).

1.8.3.3.Método enzimático

Las muestras son incubadas con pepsina en HCl 0.1N por 24 horas, seguido por la incubación de preparados con celulosa por 48 horas. Las modificaciones que ha sufrido este método consisten en la inclusión de un tratamiento con amilasa y calor para la digestión de muestras ricas en almidón y pre-tratamientos con solución detergente neutro para disminuir el tiempo requerido para cada análisis (11). Las técnicas enzimáticas tienen la ventaja de ser independientes del animal, además de que son relativamente simples de estandarizar y tienen resultados con poca variación. A diferencia de la validez de los resultados biológicos, puede ser una limitante la incompleta actividad enzimática, comparada con la del medio ambiente ruminal (21). Mahaderan *et. al.*, citados por Marshal *et. al.* (21), encontraron diferencias al comparar la digestión de proteínas de diferentes orígenes usando proteasa de *Streptomyces griseus* y usando extracto de enzimas de líquido ruminal. Concluyeron que el uso de enzimas no ruminales en un sistema *in vitro* para predecir la degradación de proteína de la dieta da un valor engañoso, provocado por las enzimas no ruminales, puesto que no tienen la misma acción que las enzimas de origen ruminal (21).

Las técnicas enzimáticas han sido utilizadas para predecir la fermentación microbiana en el rumen. Para esto es crucial que la concentración de enzimas sea suficiente como para saturar al sustrato. La concentración de enzimas es el factor limitante, ya que la acumulación de los productos finales durante la incubación puede inducir la inhibición progresiva de la actividad enzimática. Asimismo, este método se ve afectado por el pH del alimento ofrecido, pues éste influye en la proteólisis (21).

Las ventajas de este método son (21):

- a) Presenta una repetibilidad alta: las preparaciones de enzimas son más uniformes y proveen una mayor repetibilidad que el inóculo biológico.
- b) No se requieren animales donadores de líquido ruminal.
- c) La duración del ensayo es de 24 horas, menor que con el procedimiento del líquido ruminal, y puede ser menor aún, utilizando un pre-tratamiento con detergente neutro.

Las desventajas son (11,21):

- a) Las preparaciones de enzimas no siempre tienen relación con el tipo de especies microbianas en el rumen

- b) La digestibilidad puede ser menor para alimentos de baja digestibilidad, por lo que para éstos se recomienda la combinación de enzimas fibrolíticas, como la celulosa, hemicelulosa y xilanasa.

1.8.3.4 Análisis electroforético.

La velocidad y grado de degradación proteica en el rumen están relacionados con la composición de aminoácidos y el tipo de proteína (albúminas, globulinas, prolaminas y gluteínas). La electroforesis en gel, se utiliza para separar las diferentes fracciones de proteína de acuerdo con la carga de la partícula proteica, al ser forzada a migrar a través de un medio viscoso por acción de un campo eléctrico. En los no rumiantes se ha estudiado la relación entre las fracciones de proteína y la digestibilidad, pero poco se ha hecho en rumiantes. Rogmanolo *et al.*, citados por Stern *et al.* (21), usaron el análisis electroforético para estimar la degradabilidad ruminal de la proteína del maíz y concluyeron que la zeína es relativamente resistente a la degradación ruminal, mientras que las albúminas, las globulinas y las glutelinas se degradaban más rápidamente. Los resultados obtenidos con electroforesis son consistentes con los valores obtenidos usando procedimientos enzimáticos o cultivos bacterianos (21).

El análisis electroforético es más sencillo y menos caro que determinar la digestibilidad *in vivo* y también permite la medición de la fracción soluble de la proteína. Sin embargo, se necesitan métodos de extracción más eficientes porque las técnicas actuales no permiten la extracción de proteína de ciertos alimentos, como harina de gluten de maíz y harina de pescado (21).

1.8.3.5 Espectroscopia refractaria infrarroja cercana (NIRS)

Este es un método rápido, barato y preciso para estimar la composición química de diferentes alimentos y tiene el potencial de estimar la degradación de la MS y de la proteína de alimentos en el rumen (21). Ecuaciones de predicción para estimar la degradación ruminal de diferentes forrajes arrojaron coeficientes de determinación múltiples que variaron de 0.87 para trébol pico de pájaro hasta 0.97 para alfalfa (21). Sin

embargo, se obtienen mejores valores de predicción utilizando las muestras de forraje secas en lugar de frescas (21). Esta técnica también estimó con precisión la degradación ruminal de la proteína cruda de varias especies de pastos y variedades de alfalfa (21).

1.8.4 Digestibilidad *in situ* (bolsa de nylon o dacrón).

La técnica de la bolsa de dacrón o nylon es la más ampliamente utilizada para la estimación de la degradación ruminal de nutrimentos porque es relativamente simple y de bajo costo, comparada con los métodos que involucran animales canulados en el intestino (20).

La técnica consiste en la colocación de bolsas de nylon o dacrón, que contienen diferentes alimentos, en el rumen de animales canulados y se mide la desaparición de este material a intervalos periódicos, hasta por un tiempo aproximado de 96 horas. Esto representa una ventaja comparado con los métodos de laboratorio, puesto que involucra procesos digestivos que ocurren en el rumen de un animal vivo, con la participación de microorganismos en su medio natural; es más barata y tiene repetibilidad entre días, períodos y laboratorios; sin embargo, su uso para predecir el valor nutritivo de un alimento se ve limitado por una mayor variabilidad y, debido a factores que pueden afectar las estimaciones de la digestión, estas técnicas necesitan ser controladas con estándares (11,21,22,23). Los factores que determinan los resultados son: bolsas con material poroso, tamaño de la partícula, cantidad de muestra, acumulación de gas dentro de la muestra, residuos microbianos y dieta. Esta técnica se recomienda para el estudio de fuentes proteicas y cuando se deben variar las condiciones ruminales (4,6,7,23)

1.9 Justificación

El valor nutritivo de un alimento se conoce por su composición química y por su digestibilidad y eficiencia de utilización por el animal. Por lo tanto, el conocimiento de la digestibilidad de la materia seca (MS) y de la materia orgánica (MO) es necesario para hacer un uso eficiente de los alimentos. Los estudios realizados hasta ahora con este tipo de ensilados han indicado que se trata de un ingrediente económico y con un elevado

valor nutritivo, por lo que es importante determinar la digestibilidad de ensilados de excretas porcinas y compararla con alimentos de digestibilidad conocida.

1.10 Hipótesis

La inclusión de residuales sólidos de excretas porcinas ensiladas en dietas integrales modifica la digestibilidad *in vivo* e *in vitro* de la materia seca y de la materia orgánica.

1.11 Objetivos

- ◆ Determinar la digestibilidad *in vivo* de la materia seca y de la materia orgánica del heno de alfalfa que se utilizó como estándar en las pruebas de digestibilidad *in vitro*.
- ◆ Determinar la digestibilidad *in vitro* de la materia seca y de la materia orgánica del heno de alfalfa utilizado como estándar.
- ◆ Determinar la digestibilidad *in vivo* de la materia seca y de la materia orgánica de una dieta integral elaborada con ensilado de residuos sólidos de excretas porcinas.
- ◆ Determinar la digestibilidad *in vitro* de la materia seca y de la materia orgánica de una dieta integral elaborada con ensilado de residuos sólidos de excretas porcinas.
- ◆ Determinar la digestibilidad *in vitro* del ensilado de residuos sólidos de excretas porcinas.
- ◆ Comparar la digestibilidad *in vivo* del heno de alfalfa con la de la dieta integral y con la dieta que incluye ensilado de residuales sólidos de excretas porcinas.
- ◆ Comparar la digestibilidad *in vivo* vs la digestibilidad *in vitro* de las dietas integrales con ensilado de residuales sólidos de excretas porcinas.

2. MATERIAL Y METODOS

El experimento se llevó a cabo en dos fases, que se realizaron en el CEIPSA (Centro de Enseñanza Práctica e Investigación en Producción y Salud Animal), que pertenece a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (F.M.V.Z) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Ubicado en el Km 29 de la carretera México-Cuernavaca, Delegación Tlalpan, D.F., a 2760 metros sobre el nivel del mar, con una latitud 19° 13' longitud oeste 99°, 1', y una precipitación pluvial de 800 a 1200 mm. La temperatura media anual es de 13.7°C, el clima de la región es templado semifrío con lluvias en Verano.

2.1 Digestibilidad *in vivo* e *in vitro* del heno de alfalfa

2.1.1 Animales empleados.

Se utilizaron 10 ovinos machos Pelibuey, cinco con un peso inicial promedio de 35 ± 0.71 Kg, y cinco con 45 ± 1.86 Kg. Antes de iniciar ambas pruebas los animales se desparasitaron (Ribendazol) y vitaminaron (Vigantol ADE). Durante la fase experimental de cada prueba, los animales se alojaron en jaulas metabólicas individuales, ubicadas en una unidad metabólica, donde se mantuvo a los ovinos en su zona de confort. La temperatura se controló mediante el uso de cortinas, midiéndose durante el transcurso del día con un termo higrómetro digital **

2.1.2 Fase de adaptación

Los diez ovinos se alojaron en un corral, con agua y sales mineralizadas a libertad y paulatinamente, durante el transcurso de 15 días se fue sustituyendo la paja de avena y el ensilado de maíz inicial por heno de alfalfa (*Medicago sativa*). Al cabo de estos 15 días, los animales se subieron a las jaulas metabólicas, proporcionándoles 14 días de adaptación a las jaulas (en esta prueba las jaulas fueron de madera, con piso de rejilla de plástico) y al manejo (alimentación cada 12 horas, 06:00 y 18:00 hrs.). Los últimos siete

* Marca Taylor

días de este período se utilizaron para acostumbrar a los animales al arnés y a la bolsa recolectora de heces.

Del día 14 a 21 se midió diariamente el consumo de heno de alfalfa pesando la cantidad ofrecida y el rechazo dos veces al día y, por diferencia, se calculó el consumo por animal. Para evitar el desperdicio, el heno de alfalfa se fraccionó en una picadora. Durante este tiempo y durante la fase experimental los animales tuvieron libre acceso a agua y sales minerales (Bovitina*).

2.1.3 Fase experimental.

El periodo de recolección de heces se realizó del día 21 a 27 de esta fase. Durante este tiempo, la cantidad de alimento ofrecida a los animales fue el 90% del consumo registrado para cada uno de ellos durante los siete días previos, haciéndose ajustes diariamente a fin de que el rechazo fuera mínimo.

Las heces se recolectaron dos veces al día, antes de cada comida, y se depositaron en una bolsa de plástico, identificándolas por animal y por día y pesándolas en una báscula digital de plataforma (Torrey, capacidad de 10 Kg) para obtener la producción por animal por día. Las muestras se mantuvieron en congelación; al finalizar este periodo se descongelaron, se muestrearon (10% de la producción fecal por día) y se mezclaron. La alícuota fue desecada en estufa a 50 °C y se calculó el contenido de materia seca. Como hubo rechazo cada día, éste también se recolectó, congeló y desecó.

Las digestibilidades de MS y MO se calcularon mediante la siguiente fórmula:

Digestibilidad de la MS o MO = [(MS o MO consumida – MS o MO en heces)/ MS o MO consumida]*100

Una vez terminada esta fase, los animales se bajaron de las jaulas, se pesaron y se alojaron en un corral colectivo.

*Análisis garantizado: proteína cruda, 3%; calcio, 15%; fósforo, 7%; sal, 12%; manganeso, .25%; zinc, .45%; cobre, .05%; hierro, .35%; yodo, .001%, y cobalto, .014%.

2.1.4 Análisis de laboratorio

A las muestras de heno ofrecido, rechazado y de heces se les realizaron los siguientes análisis: análisis químico proximal (AQP), que incluye materia seca, materia orgánica, cenizas, proteína cruda por macroKjeldahl, extracto etéreo y fibra cruda (24), FDN y FDA (25).

2.1.4.1 Prueba de Tilley y Terry

La digestibilidad *in vitro* de la materia seca y de la materia orgánica del heno de alfalfa se realizó siguiendo la metodología de Tilley y Terry (26) para comparar con la digestibilidad *in vivo*. Ocho muestras de heno de alfalfa secas y molidas se incubaron, por triplicado, en un baño María con agitación, a 39°C, durante 48 horas. Se utilizó líquido ruminal obtenido de los animales experimentales, que se mezcló con saliva artificial. Pasadas las 48 horas, las muestras se centrifugaron a 2500 rpm/10 min, se decantó el sobrenadante y se agregó una mezcla de HCl y pepsina. Las muestras volvieron a incubarse a 39°C en baño María durante otras 48 horas para simular la digestión ácida que ocurre en el abomaso.

2.1.5 Análisis estadístico

Como únicamente hubo un tratamiento, la alfalfa, se calculó la media y la desviación estándar de la digestibilidad de la alfalfa *in vivo* e *in vitro*. Sin embargo, como el peso de los animales no fue homogéneo, se realizó una prueba de t ($P < 0.05$) (27) para comparar la digestibilidad entre los animales más pesados y los más ligeros.

2.2 Digestibilidad *in vivo* e *in vitro* de dietas integrales con y sin ensilado de residuos sólidos de excretas porcinas

2.2.1 Elaboración del ensilado de residuos sólidos de excretas porcinas

La fracción sólida de excretas porcinas (82% en base húmeda, BH) se mezcló con sorgo molido (10% BH) y melaza (8% BH), de forma manual, y se compactó en tambos de 200 Kg, que se taparon herméticamente. Los silos permanecieron sellados durante 70 días. La fracción sólida de las excretas de cerdo que se empleó provino de todas las etapas de producción del Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Porcina (CEIEPP) de la F.M.V.Z de la UNAM, localizado en Jilotepec, Edo. de México, que cuenta con un sistema de recolección de excretas para separación de sólidos (tipo cascada).

2.2.2 Elaboración de dietas integrales

Para la elaboración de dietas integrales se utilizó rastrojo de maíz, sorgo en grano, pasta de soya, melaza de caña, urea, carbonato de calcio y ortofosfato de calcio. A todos estos ingredientes se les realizó un Análisis Químico Proximal, un análisis de Van Soest y/o un análisis de calcio y fósforo para conocer con exactitud el aporte de nutrimentos.

La formulación de las raciones se realizó con el programa de MIXIT, utilizando el programa de determinación de requerimientos para ovinos del Ing. Maximino Huerta¹. Se calcularon las necesidades para ovinos con las siguientes características: 14 meses de edad, 38 Kg de peso y 200 g de ganancia diaria de peso. Los requerimientos con los cuales se trabajó fueron: energía metabolizable (EM), 2.65 Mcal/Kg; proteína cruda (PC), 11.5 %; Ca, 0.64 %, y P, 0.26%. Como la inclusión del ensilado de sólidos de excretas porcinas hizo imposible conservar los niveles de Ca y P señalados y para mantener una relación óptima entre los minerales, se aumentaron el Ca y el P a 1.3 % y 0.66 %, respectivamente.

¹ Huerta, M. Programa para cálculo de requerimientos nutricionales de ovinos, Universidad Autónoma de Chapingo.

En el Cuadro 3 se presentan las dos dietas integrales que se usaron en este experimento y el análisis nutricional. La dieta testigo (T1) no incluyó ensilado de residuales sólidos de excretas porcinas y la dieta experimental (T2) incluyó 20% en base seca (BS) de ese ensilado. A ambas dietas se les realizaron los análisis químicos proximales (AQPs) y determinaciones de Ca y P para conocer el verdadero aporte de nutrimentos.

2.2.3 Animales empleados

Se utilizaron los mismos 10 ovinos Pelibuey usados en el primer experimento, asignando cinco animales a cada tratamiento. Los animales se pesaron y se cuidó que la distribución de peso fuera homogénea entre los tratamientos, de tal manera que en el T1 el peso promedio fue de 45.2 ± 2.71 Kg y en el T2, 45.44 ± 6.33 Kg.

Cuadro 3. Composición y análisis nutricional de las dietas integrales, testigo (T1) y experimental (T2)

Ingredientes	Testigo (T1) Kg/100 Kg (BH)*	Experimental (T2) Kg/100 Kg (BH)
Ensilado de excretas porcinas	-----	36.84
Rastrojo de maíz	49.37	36.10
Sorgo molido	30.75	14.80
Pasta de soya	9.39	4.71
Melaza	9.57	5.60
Urea	0.19	0.15
Carbonato de calcio	0.40	1.19
Ortofosfato de calcio	0.39	0.60
A N A L I S I S N U T R I C I O N A L (BS)**		
Energía metabolizable, Mcal/Kg	2.65	2.64
Proteína cruda, %	11.60	11.38

*BH = base húmeda

**BS = base seca

2.2.4 Fase de adaptación

Para su adaptación a las dietas, los animales se separaron en dos corrales, uno para cada tratamiento, y paulatinamente se fue sustituyendo la dieta de mantenimiento (paja de avena y ensilado de maíz) por las respectivas dietas integrales. Durante todo momento los animales contaron con agua y sales minerales a libre acceso.

2.2.5 Fase experimental

En este experimento se utilizaron jaulas metabólicas metálicas, con piso de rejilla de plástico. Durante los siete primeros días después de haber alojado a los animales a las jaulas se les permitió acostumbrarse nuevamente al manejo (alimentación cada 12 horas, 07:00 y 19.00 hrs), al arnés y a la jaula; en los siguientes siete días se midió el consumo voluntario, y del día 14 a 21 se restringió el alimento ofrecido al 90% del consumo registrado durante los siete días previos y se realizó la recolección de heces, de la manera ya descrita. En todo momento los animales tuvieron acceso a agua limpia y sales mineralizadas.

2.2.6 Análisis de laboratorio

A las muestras de alimento ofrecido, rechazado y de heces se les realizaron las siguientes mediciones: materia seca, materia orgánica, cenizas, extracto etéreo, proteína cruda por macrokjeldahl, fibra cruda (24) y FDN y FDA (25). Asimismo, se realizó la prueba de Tilley y Terry a las muestras de las dietas integrales, siguiendo los pasos descritos anteriormente (26).

2.2.7 Análisis estadístico

Los datos de digestibilidad *in vivo* de la MS y de la MO se sometieron a una prueba de t para dos medias, al igual que los datos sobre consumo de MS. Los tratamientos se consideraron diferentes si $P < 0.05$ (27).

3 RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 Digestibilidad *in vivo* e *in vitro* del heno de alfalfa

Los análisis químicos proximales, de Ca, P, FND, FDA, celulosa, hemicelulosa y lignina de la alfalfa mostraron las características que aparecen en el Cuadro 4:

Cuadro 4. Análisis químico proximal, energía metabolizable, calcio, fósforo, fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), celulosa, hemicelulosa y lignina de la alfalfa (*Medicago sativa*) utilizada en el estudio.

Componente	Análisis
Materia seca, %	90.37
Humedad, %	9.63
Materia orgánica, % (BS)	90.28
Proteína cruda(N x 6.25), % (BS)	16.58
Extracto etéreo, % (BS)	2.23
Cenizas, % (BS)	9.72
Fibra cruda, % (BS)	21.23
Extracto libre de nitrógeno, % (BS)	50.25
Energía metabolizable, Mcal/Kg (BS)	2.63
Calcio, % (BS)	1.42
Fósforo, % (BS)	0.15
FDN, % (BS)	45.52
FDA, % (BS)	34.62
Celulosa, % (BS)	28.10
Hemicelulosa, % (BS)	10.90
Lignina, % (BS)	6.34

BS = base seca

Todos estos valores son muy similares a los que se utilizan como estándares y que se encuentran en la literatura (28). Para un heno curado al sol, en floración media, las cifras son: 17% de proteína cruda, 2.6% de extracto etéreo, 9.1% de cenizas, 26% de fibra cruda, 1.41 % de calcio, 0.24% de fósforo, 46% de FDN, 35% de FDA, 26% de celulosa, 10% de hemicelulosa y 9% de lignina (28).

La digestibilidad *in vivo* de la MS de la alfalfa fue de $66.6 \pm 10.5\%$, muy similar a la encontrada por Gómez *et al.* (29) de 66.4%, utilizando borregos Pelibuey adultos y la técnica de recolección total de heces. Estos autores compararon la digestibilidad de la alfalfa con la digestibilidad de la paja de trigo tratada con hidróxido de sodio. Bouhi-Brum (30) estudió también con ovejas adultas, de raza Merino con un peso vivo de 58.3 ± 4.08 Kg, la digestibilidad *in vivo* de la MS de la alfalfa y encontró, con dos variedades diferentes de heno de alfalfa, digestibilidades de 66.8% y 60.4%. Esto indica que la digestibilidad *in vivo* de la MS de la alfalfa en el presente estudio estuvo dentro de los valores normales para este forraje en borregos y que la medición de la digestibilidad se realizó adecuadamente.

La variabilidad, sin embargo, fue elevada, representada por una desviación estándar de 10% y un coeficiente de variación (C.V.) de 15.7%. En pruebas de digestibilidad con forrajes, el C.V. oscila, generalmente, entre 8 y 12% (Castrejón, F., comunicación personal). En este caso, la variación pudo haberse debido a varios factores. El más obvio sería la diferencia en digestibilidad que podría presentarse entre animales de diferente talla. Sin embargo, la prueba de t no indicó diferencia estadística para la digestibilidad *in vivo* de la MS entre los animales pesados ($68.4 \pm 10.2\%$) y los ligeros ($64.8 \pm 10.5\%$) ($P > 0.05$). El consumo de heno de alfalfa se mantuvo constante para cada animal, a lo largo del periodo de medición, en gran medida debido a que se restringió al 90% del consumo máximo registrado durante la etapa de adaptación y se fueron haciendo ajustes para evitar, en lo posible, el rechazo. Sin embargo, el consumo entre animales fue sumamente variable, con un promedio de 1.07 ± 0.3 Kg de MS de heno y un C.V. de 27.8%. Esto confirma lo estipulado ya en la literatura (31, 32) en cuanto a que, para un mismo alimento, las variaciones en el consumo de MS son más importantes que las variaciones en digestibilidad. El haber mantenido el consumo al 90% del máximo posible también ayudó a evitar alteraciones en la digestibilidad, que pueden presentarse cuando los consumos son elevados, pues a mayor consumo, mayor velocidad de paso, menor retención ruminal y, por lo tanto, menor digestibilidad (32). La recolección y pesaje de las heces pudo haber sido otra fuente de variación, especialmente porque la alfalfa se caracteriza por producir heces con más humedad y, por ende, más pastosas. Esto ocasiona que se adhieran a las paredes de la bolsa recolectora y que sea necesario raspar bien las bolsas para tener un pesaje lo más exacto posible, lo cual introduce

variabilidad adicional. El promedio de producción de MS fecal fue de 0.35 ± 0.13 Kg, con un C.V. de 36.2%.

La digestibilidad *in vivo* de la MO de la alfalfa en este estudio fue de $67.1 \pm 9.4\%$, muy similar a la de la MS, 66.6%. En la investigación realizada por Gómez et. al. (29) se señala un coeficiente de digestibilidad *in vivo* de la MO para heno de alfalfa de 70.5% en borregos Pelibuey (contra 66.4% de digestibilidad *in vivo* de la MS).

Al terminar esta fase, los animales pesaron, en promedio, 45.44 ± 6.33 Kg los ligeros y 45.2 ± 2.71 los pesados, observando que los animales menos pesados ganaron tanto peso como el que tenían los animales de mayor talla, mientras que los animales mas pesados mantuvieron su peso.

La digestibilidad *in vitro* de la MS (DIVMS) de la alfalfa fue de $67.9 \pm 2.4\%$ y la digestibilidad *in vitro* de la MO (DIVMO) fue de $64.9 \pm 2.7\%$. Estos valores son muy similares a los obtenidos *in vivo*, lo que indica que la técnica de Tilley y Terry estimó acertadamente la digestibilidad de la alfalfa y, por lo tanto, es un procedimiento confiable y el mejor método disponible hasta el momento para estimar la DIVMS (33).

3.2 Digestibilidad *in vivo* e *in vitro* de dietas integrales elaboradas con y sin ensilado de residuos sólidos de excretas porcinas

El Cuadro 5, muestra las características nutricionales del ensilado de residuos sólidos de excretas porcinas. Puede apreciarse que el contenido de proteína cruda fue aceptable (16%); que el valor de FDN fue moderado (37%) y la concentración de cenizas elevada (11%); reflejándose en niveles moderados de Ca (1.2%) y altos de P (1.7%). De ahí la necesidad de ajustar los requerimientos de Ca y P para la elaboración de la dieta experimental. El ensilado tuvo una buena concentración de carbohidratos solubles (51% de elementos libres de nitrógeno), por lo que el aporte de EM fue aceptable (2.8 Mcal/Kg).

Cuadro 5. Análisis químico-proximal, energía metabolizable, calcio, fósforo, fibra detergente neutro (FND) y fibra detergente ácido (FDA) del ensilado de residuos sólidos de excretas porcinas utilizado en el estudio.

Componente	Análisis
Materia seca, %	38.67
Humedad, % (BS)	61.33
Proteína cruda (N x 6.25), % (BS)	16.00
Extracto etéreo, % (BS)	11.07
Cenizas, % (BS)	10.82
Fibra cruda, % (BS)	11.23
Extracto libre de nitrógeno, % (BS)	50.85
Energía metabolizable, Mcal/Kg (BS)	2.82
Calcio, % (BS)	1.15
Fósforo, % (BS)	1.66
FDN, % (BS)	37.22
FDA, % (BS)	62.73

BS = base seca

El Cuadro 6 muestra las características nutricionales de las dietas integrales testigo (T1) y experimental (T2). Puede observarse que la inclusión del ensilado de residuales sólidos de excretas aumentó la humedad de la dieta experimental (70% de MS vs. 85% de la dieta testigo); sin embargo ambas dietas tuvieron concentraciones similares de energía, proteína y fibras detergente neutro y ácido. Las relaciones Ca:P en las dietas estuvieron dentro de lo que se considera adecuado para ovinos (34).

La digestibilidad *in vivo* de la MS de la dieta testigo, ($60.0 \pm 4.5\%$) fue mayor ($P < 0.05$; intervalo de confianza 1.25, 6.29); que la de la dieta experimental, ($56.2 \pm 5.9\%$), lo que significa que la inclusión del ensilado de sólidos de excretas porcinas redujo la digestibilidad de la dieta, aceptándose, por lo tanto, la hipótesis nula postulada: "la inclusión de ensilados de residuos sólidos de excretas porcinas modificó la digestibilidad de la dieta". La digestibilidad *in vivo* de la MS (60%) obtenida, en este experimento, para la dieta testigo fue menor a la digestibilidad *in vivo* de la MS del heno de alfalfa (66.6%), lo cual se puede explicar por el hecho de que la dieta integral contó con casi 50% de rastrojo de maíz, ingrediente que posee una baja digestibilidad (entre 40 y 50%) (35). La digestibilidad *in vivo* de la MS de la dieta experimental fue aún menor (56%) y estuvo por debajo de lo encontrado por Barajas *et al.* (36), quienes señalaron una digestibilidad *in*

vivo en borregos Pelibuey alimentados con dietas integrales con 15% de cerdaza secada al sol, de $68.3 \pm 1.7\%$.

Cuadro 6. Análisis químico-proximal, energía metabolizable, calcio, fósforo, relación calcio:fósforo, fibra detergente neutro (FND) y fibra detergente ácido (FDA) de las dietas integrales testigo (T1) y experimental (T2) utilizadas en el estudio.

Análisis nutricional	Testigo (T1)	Experimental (T2)
Materia seca, %	85.10	69.73
Materia orgánica, % (BS)	93.80	91.64
Proteína cruda, % (BS)	11.60	11.38
Extracto etéreo, % (BS)	4.90	6.71
Cenizas, % (BS)	6.20	8.36
Fibra cruda, % (BS)	13.10	17.07
Extracto libre de nitrógeno, % (BS)	64.20	56.48
Energía metabolizable, Mcal/Kg (BS)	2.65	2.64
Calcio, % (BS)	0.73	1.04
Fósforo, % (BS)	0.31	0.74
Relación Ca:P	2.35:1	1.40:1
Fibra detergente neutro, % (BS)	49.73	50.10
Fibra detergente ácido, % (BS)	20.60	25.12

BS = base seca

Hay varios factores aquí que deben examinarse con un poco más de detenimiento. La diferencia en digestibilidad entre la dieta testigo y la experimental se debió, básicamente, al consumo de MS. Los animales en la dieta testigo tuvieron un consumo de 1.04 ± 0.08 Kg de MS, mientras que los borregos en la dieta experimental consumieron 1.15 ± 0.14 Kg, diferencia que fue significativa ($P < 0.05$). Es decir, los animales en la dieta con ensilado de excretas consumieron más MS que los animales en la dieta testigo y ese mayor consumo, posiblemente, estuvo asociado con una mayor velocidad de paso, un menor tiempo de retención ruminal y una menor digestibilidad (32). Esto significa que los borregos se adaptaron perfectamente a consumir el ensilado de excretas.

Por otro lado, la diferencia entre la digestibilidad de la dieta experimental (56%) y la de la dieta con 15% de cerdaza de Barajas *et al.* posiblemente estuvo relacionada con la calidad y presentación del material fecal utilizado. En el estudio que aquí se discute se

trabajó con residuales sólidos de excretas ensiladas, mientras que en el experimento de Barajas *et al.* se utilizaron heces de cerdo secadas al sol. Esta cerdaza tuvo más proteína (18.8%), más fibra (20.2%) y más cenizas (14.9%) que las excretas ensiladas utilizadas en la presente investigación (Cuadro 5), pero, peculiarmente, menos Ca (0.15%) y menos P (0.48%). En el experimento de Barajas *et al.* se utilizaron animales de 21 Kg de peso, y la dieta sin cerdaza (que incluyó harina de pasto Sudán, maíz molido, pasta de soya, melaza, piedra caliza, ortofosfato de calcio y una premezcla mineral) tuvo una digestibilidad de $64.9 \pm 3.3\%$. Esta dieta fue similar en ingredientes a la dieta testigo, pero los animales fueron de menor talla, lo cual complica la comparación entre ese estudio y el que aquí se presenta, donde se trabajó con animales ya adultos. Sin embargo, la dieta testigo de este experimento tuvo una digestibilidad de 60%, no muy diferente de la de Barajas *et al.*, tomando en cuenta las discrepancias ya mencionadas. Lo que llama la atención es que, mientras la digestibilidad fue menor para la dieta con ensilado de excretas (56%) en este experimento, Barajas *et al.* no observaron diferencias estadísticas entre dietas sin cerdaza (64.9%) y con 15% (68.3%), 30% (66.3%) o 45% (66.4) de cerdaza. Desgraciadamente, no se cuenta con la información sobre consumo de MS en el estudio de Barajas *et al.*, pero los datos de digestibilidad harían suponer que los consumos fueron similares entre tratamientos.

Al examinar la digestibilidad *in vivo* de la MO no se observaron diferencias ($P > 0.05$; intervalo de confianza, (-0.05, 4.61), entre las dietas testigo y experimental: $59.0 \pm 4.8\%$ para T1 y $56.8 \pm 5.2\%$ para T2. La corrección por la cantidad de cenizas en las dietas ayudó a disminuir la diferencia entre los dos coeficientes de digestibilidad, lo que ocasionó que, estadísticamente, éstos ya no fueran distintos entre sí. En realidad, la diferencia detectada para la digestibilidad *in vivo* de la MS fue apenas significativa. En este caso, no se acepta la hipótesis nula y se concluye que la inclusión de ensilado de residuos sólidos de excretas porcinas en dietas integrales para borregos, no modifica la digestibilidad de la materia orgánica cuando se compara con dietas similares sin ensilado. Barajas *et al.* no señalan la digestibilidad *in vivo* de la MO de sus dietas experimentales.

Las DIVMS de las dietas testigo y experimental fueron, respectivamente, 75.7 ± 2.1 y $70.7 \pm 0.4\%$ y las DIVMO, $74.7 \pm 2.2\%$ y $70.4 \pm 2.3\%$, respectivamente. Las digestibilidades *in vitro* de la dieta testigo fueron ligeramente más altas que las de la alfalfa (68% y 65%,

para DIVMS y DIVMO, respectivamente,(Cuadro 7) y estuvieron muy por encima del resultado *in vivo* (60%, Cuadro 7). Lo mismo ocurrió con la dieta experimental, cuya digestibilidad *in vivo* fue de 56% (Cuadro 7). Sin embargo, Barajas et al. también obtuvieron resultados elevados al realizar una digestibilidad *in situ* (DISMS) en tres vacas, utilizando la dieta integral que ya se mencionó sin y con 20% de cerdaza. Para la dieta sin cerdaza, la DISMS fue de $86.2 \pm 3.1\%$ y para la dieta con 20% cerdaza fue de $77.5 \pm 2.9\%$ (Cuadro 7).

Cuadro 7. Comparación de los resultados de las digestibilidades de materia seca *in vivo* e *in vitro* con los resultados de Barajas et al.

Dieta	Digestibilidad de la materia seca, %	
	<i>In vivo</i>	<i>In vitro / In situ</i>
Alfalfa (Exp. 1)	66.6	67.9
Integral testigo (Exp 2)	60.0	75.7
Integral con 20% de ensilado de excretas (Exp. 2)	56.0	70.7
Integral testigo (Barajas et al.) ¹	64.8	86.2 ^a
Integral con 15 o 20% de cerdaza (Barajas et al.) ²	68.3	77.5 ^a

¹Ingredientes: harina de pasto Sudán, maíz molido, pasta de soya, melaza, piedra caliza, ortofosfato de calcio y premezcla mineral. La digestibilidad *in vivo* se obtuvo en borregos y la *in situ*, en vacas.

²La dieta con 15% de cerdaza se ofreció a borregos y la digestibilidad fue *in vivo*. La dieta con 20% de cerdaza se utilizó para la digestibilidad *in situ* en vacas.

^aNo se encontraron diferencias estadísticas entre estos dos datos (Barajas et al.)

La DISMS se llevó a cabo durante 48 horas, el mismo tiempo de incubación con líquido ruminal en la prueba de Tilley y Terry, pero no existe una etapa de digestión abomáscica, como en la digestibilidad *in vitro*. Tanto el trabajo de Barajas et al. como el presente estudio mostraron una diferencia muy grande entre las digestibilidades *in vivo* e *in vitro* o *in situ*. En el experimento con alfalfa, las digestibilidades *in vivo* e *in vitro* fueron muy parecidas, lo que significa que las condiciones en que se realizó la prueba de Tilley y Terry se aproximaron a lo que sucede normalmente en el rumen y abomaso de borregos que consumen alfalfa. No fue así para las dietas integrales, cuyas digestibilidades *in vitro* o *in situ*, independientemente de la inclusión o no de excretas de cerdo, fueron muy superiores a las digestibilidades *in vivo*. Esto indicaría que el método de Tilley y Terry o el método de digestibilidad *in situ* no son los más apropiados para determinar la

digestibilidad de dietas integrales, en general. Esto podría deberse al hecho de que en la dietas integrales van a existir ingredientes con diferentes tamaños de partícula, velocidades de fermentación, tasas de pasaje, etc., características que van a alterar el comportamiento del alimento dentro del rumen del animal. Eso se reflejará en diferentes coeficientes de digestibilidad, que en el caso del presente estudio, fueron mayores a los coeficientes *in vivo*. Weiss (33) comenta que en el método de Tilley y Terry, el periodo de fermentación de 48 horas es el tiempo de incubación óptimo cuando se desean estimaciones precisas de la digestibilidad *in vivo*. Sin embargo, la longitud de la fermentación *in vitro* puede alterarse, dependiendo de la información que se desee conseguir. No hay un tiempo que funcione adecuadamente para todos los forrajes y usos de la técnica porque el tiempo de residencia en el rumen no es constante. Para propósitos de investigación, el punto final de la fermentación debe basarse en información sobre tasa de paso ruminal real o estimada (33).

Sin embargo, a pesar de que no se cuenta con esos datos para dietas que contengan excretas porcinas, puede llegarse a ciertas suposiciones de manera indirecta. La DIVMS del ensilado de excretas como tal fue de $62.3 \pm 0.7\%$ y la DIVMO fue de $57.5 \pm 1.8\%$. La degradación ruminal de cerdaza *in situ* en borregos fue de $67.4 \pm 7.1\%$ a las 48 horas de incubación ruminal, momento en que se alcanzó la máxima degradación (Barajas *et al.*). A las 24 horas de incubación, la degradación fue de $45.2 \pm 9.2\%$ y el promedio de las degradaciones a las 24 y a las 48 horas da por resultado 56.3% , similar a la digestibilidad *in vivo* de la dieta integral con ensilado de excretas (Cuadro 7). Es decir, que la suposición de que el ensilado de excretas permanece 48 horas en el rumen (suposición que se hace cuando se corre una prueba de Tilley y Terry) quizá no sea la correcta. Es posible que la inclusión del ensilado de residuales sólidos de excretas en la dieta integral haya aumentado la velocidad de paso de la dieta, ocasionando un vaciamiento más rápido del rumen y, por ende, el mayor consumo ya descrito y la menor digestibilidad de la dieta.

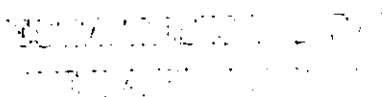
CONCLUSIONES

- La digestibilidad *in vivo* de la MS de la alfalfa fue similar a lo señalado en la literatura y coincidió con la DIVMS, obtenida por el método de Tilley y Terry.
- Las dietas integrales tuvieron una digestibilidad *in vivo* de la MS ligeramente menor numéricamente a la de la alfalfa.
- El consumo de MS de la dieta con ensilado de residuales sólidos de excretas porcinas fue mayor al consumo de la dieta testigo, lo cual se vio reflejado en una menor digestibilidad *in vivo* de la MS.
- La digestibilidad *in vivo* de la MO de la dieta con ensilado de residuales sólidos de excretas porcinas no fue diferente de la digestibilidad de la dieta testigo.
- La prueba de Tilley y Terry sobreestimó la digestibilidad de la MS de las dietas integrales.
- Los ensilados de sólidos de excretas de cerdo pueden utilizarse sin problemas en la alimentación de los ovinos con niveles de inclusión del 20% (en base seca).

5. LITERATURA CITADA

1. De Dios AJ. Los Ovinos en México. Nuestro acontecer bovino 1998; 4:58-59.
2. Martínez CA. Efecto de la inclusión de cerdaza en ensilados de planta de maíz y melaza sobre los parámetros productivos de corderas criollas (tesis de licenciatura). México D.F. México:Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM, 1999.
3. Meza MCO. Parametros productivos y del metabolismo ruminal de ovejas en crecimiento al ofrecer dietas con ensilado de excretas porcinas (tesis de licenciatura). México, D.F. México: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM, 2000.
4. López GG. Importancia del reciclaje de excretas porcinas. Acontecer porcino 1994; 11:10.
5. Castrejón PFA. Algunos estudios sobre el reciclaje de excretas en la alimentación de bovinos. Memorias del curso internacional avanzado en nutrición de rumiantes. Colegio de posgraduados. 1993;27:51-54..
6. Verdoes N. Frenando la contaminación de la población porcina. Acontecer porcino. 1994; 11:6.
7. Toledo BA. Caracterización nutricional de ensilados de excretas porcinas (fracción sólida) con bagazo de caña y melaza (tesis de licenciatura). México, D.F. México: Facultad de Medicina veterinaria y Zootecnia. UNAM, 1997.
8. Caballero HI. Efecto del proceso de ensilaje sobre la viabilidad de los parásitos presentes en las excretas porcinas (tesis de licenciatura). México, D.F. México: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM, 2000
9. Cabrera MP. Ácidos grasos de cadena corta, macro y microminerales en ensilados de excretas porcinas (fracción sólida) con caña de azúcar picada (tesis de licenciatura). México, D.F. México: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM, 1998.
10. Ruelas A. Manual de técnicas de investigación en rumiología. México: Sistema de educación continua en producción animal en México, 1990.
11. Ortega CME, Carranco JEM. Factores que afectan la digestibilidad *in situ* de los alimentos en el rumen. Vet. Mex., 1993;24.
12. Maynard AL, Loosli KJ, Hintz FH, Warner GR, Nutrición animal. Fundamentos de alimentación del ganado. México. Mc.GrawHill, 7ed., 1981

13. Goyo PEC, Castellano RAF, Castillo CGJ, Moguel OYB. Impacto del uso de niveles adecuados de excretas animales en la alimentación de ovinos. Campo experimental Mococho. Centro de investigación regional de la Península de Yucatán (México). INIFAP. SAGAR.
14. Campabadal C. Utilización de cerdaza en el ganado de carne. Acontecer bovino 1995; 1:4-10
15. Church DC, Pond WG. Fundamentos de nutrición y alimentación de los animales. México: Noriega Limusa, 1990.
16. Chilbroste P, Aguilar C, García F. Nutritional evaluation of diets. Simulation model of digestion and passage of nutrients through the rumen-reticulum. Anim. Feed Sci. Technol. 1997; 88: 259-275
17. Poo, MI, Hanson TL and Klopfenstein JJ. Monensin effects on diet digestibility, ruminal protein bypass and microbial protein synthesis. J. Anim. Sci. 1979, 48: 1516-1524
18. Potter EL, Muller RD, Wray MI, Carrol LH and Meyer RM. Efecto de monensin on the performance of cattle on pasture or fed harvested forages in confinement. J. Anim. Sci. ; 1986, 62:583-592.
19. Kitesa, PC linn and GG Irsh. Comparison of methods used to predict the in vivo digestibility of feeds in ruminants. Aust. J. Agric. Res., 1999; 50:825-840.
20. Schneider BH, Flatt WP. The evaluation of feeds through digestibility experiments. The University of Georgia press, athens 1995.
21. Stern MD, Bach A, Calsamingla S. Alternative techniques for measuring nutrient digestion in ruminants. J. Anim. Sci. 1997;75:2256-2276.
22. Stritzler NP, ferri CM, Jouve VV. Comparación de modelos utilizados para estimar la desaparición de la materia seca *in sacco* y la degradabilidad efectiva. Rev. Arg. Prod. Anim. 1997; 17(4):353-364.
23. Mehrez AZ, Orskov ER. A study of artificial bag technique for determining the digestibility of feeds in the rumen. J. Agric. Sci. 1997;88:645-650.
24. A.O.A.C. Official methods of analysis. Association of official analytical chemists, 15th ed., 1990.
25. Goering HK and Van Sest PJ. Forage fiber analysis (approach, reagents, procedures and some applications) Agric. Handb.379, ARS USDA, Washington, DC, 1975.
26. Tilley JM and Terry RA. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops.. J. Brit. Grassland Soc. 1963;8:104.



 INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y SEGURIDAD ALIMENTARIA Y NUTRICIONAL

27. Steel RGD and Torrie JH. Principles and procedures of statistics: A biometrical approach 2nd ed, New York: McGraw-Hill Book. Co., 1980.
28. Necesidades nutritivas del ganado vacuno de carne. 3^o. ed. Ed. Hemisferio Sur S.A., Argentina, 1994.
29. Gómez AR, Romero GH, Llamas LG, Santacruz MI. Efecto del tratamiento alcalino de la paja de trigo sobre su digestibilidad. Avances en la investigación pecuaria del estado de Sonora, 1982.
30. Bochi-Brum O, Carro MD, Valdez C, González JS, López S. Digestibilidad in vitro de forrajes y concentrados: efecto de la ración de los animales donantes del líquido ruminal. Arch. Zootec. 1999, 48: 51-61
31. Mertens, DR. Regulation of forage intake. *En: Forage quality, evaluation and utilization*, GC Fahey, Jr. (ed.), American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc., Soil Science Society of America, Inc., Madison, 1994, pp. 450-493.
32. Van Soest, P.J. Nutritional ecology of the ruminant. 2nd ed., Comstock Publishing Associates, Ithaca, 1994, 476 pp.
33. Weiss, W.P. Estimation of digestibility of forages by laboratory methods. *En: Forage quality, evaluation and utilization*, GC Fahey, Jr. (ed.), American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc., Soil Science Society of America, Inc., Madison, 1994, pp. 644-681.
34. NRC. Nutrient Requirements of sheep. 6th ed. Washington DC: National Academy Press, 1985.
35. Huerta, M. Comportamiento de ovinos alimentados con subproductos lignocelulósicos. Memorias del curso "Tópicos actuales sobre nutrición y alimentación de ovinos en engorda", Asociación Mexicana de Especialistas en Nutrición Animal y Asociación Mexicana de Técnicos Especialistas en Ovinocultura, 17-19 de mayo de 1995, Universidad Autónoma de Chapingo, pp. 32-53.
36. Barajas, R, Flores, LR, Obregón, JF, Domínguez, JE y Romo, JA. Digestibilidad de cerdaza secada al sol como sustituto de forraje en dietas prácticas para rumiantes. Memorias V reunión bienal de Nutrición Animal, Universidad Agraria Antonio Narro, 26-28 de octubre de 1994, Saltillo, Coah., pp. 42-46