

6



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA**

**CARBOHIDRATOS SOLUBLES, FRACCIONES DE LA FIBRA  
Y DE LA PROTEÍNA EN ENSILADOS CON EXCRETAS  
PORCINAS, ESQUILMOS AGRÍCOLAS Y MELAZA.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA  
P R E S E N T A :  
MARICELA AYALA MARTINEZ**

**ASESOR: M. EN C. FRANCISCO A. CASTREJON PINEDA  
M.P.A. AURORA HILDA RAMIREZ PEREZ  
Ph. D. SILVIA ELENA BUNTINX DIOS  
Q. MA. ANTONIETA AGUIRRE GARCIA †**



**MEXICO, D. F.**

**2002**



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.

PAGINACIÓN

DISCONTINUA

## **DEDICATORIA**

**A Javier por ser la sonrisa mágica, que ilumina mi vida.**

**A mis Padres: Ma. de Jesús y Gustavo por su apoyo, paciencia y motivación.**

**A Pilar por ser mi mejor amiga.**

**A ese alguien tan especial, que con el solo hecho de estar cerca, alegra mi vida, al compartir el mismo espacio.**

**A Gustavo por causar problemas y dar diversión.**

## **AGRADECIMIENTOS**

**A mis asesores:** M. en C. Francisco A. Castrejón Pineda  
M.P.A. Aurora Hilda Ramírez Pérez  
Ph. D. Silvia Elena Buntinx Dios  
Q. Ma. Antonieta Aguirre García†

**Por su apoyo para la realización de este trabajo, con su experiencia y conocimientos.**

**A Fer por su enseñanza, amistad y paciencia.**

**A las personas que laboran en el Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica por ser compañeros y amigos.**

**A mis jurados: MVZ. Humberto Troncoso Altamirano  
MPA. Sergio Angeles Campos**

**Por su apoyo al ofrecer su tiempo y conocimientos.**

**A el proyecto PAPIITIN210997, por las facilidades prestadas para la realización de la presente investigación.**

## CONTENIDO

	<u>página</u>
Lista de Cuadros .....	V
Lista de Figuras .....	VII
RESUMEN.....	1
I. INTRODUCCIÓN .....	3
II. ANTECEDENTES .....	6
2.1 Excretas porcinas.....	6
2.2 Las excretas como contaminante.....	6
2.3 Normas relacionadas con la emisión de excretas.....	7
2.4 Leyes relacionadas con la emisión de excretas.....	8
2.5 Utilización de las excretas.....	8
2.6 Tratamiento de excretas.....	10
2.7 Ensilaje.....	12
2.7.1 Características de la caña de azúcar que favorecen el proceso de ensilaje de excretas.....	13
2.7.2 Características de la melaza que favorecen el proceso de ensilaje de excretas.....	14
2.7.3 Características del heno de avena que favorecen el proceso de ensilaje de excretas.....	15
2.8 Las fracciones de la proteína en los alimentos.....	17
2.9 Las fracciones de la fibra en los alimentos.....	18

2.10 Carbohidratos solubles.....	20
JUSTIFICACIÓN .....	22
HIPOTESIS .....	23
OBJETIVOS.....	24
III. MATERIAL Y MÉTODOS.....	25
3.1 Lugar donde se realizó la investigación.....	25
3.2 Diseño experimental.....	25
3.3 Elaboración de microsilos.....	26
3.4 Determinaciones.....	27
3.5 Análisis estadístico.....	27
IV. RESULTADOS .....	29
V. DISCUSIÓN .....	36
VI. CONCLUSIONES .....	52
VII. RECOMENDACIONES.....	53
VIII. LITERATURA CITADA.....	54
IX. ANEXOS.....	65
X. 9.1 Técnica para determinar los carbohidratos solubles.....	65
9.2 Técnica para determinar las fracciones de la proteína.....	68

#### LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos utilizados en el estudio.....	75
Cuadro 2. Análisis químico proximal de los ingredientes (residuos sólidos de excretas porcinas, forraje y melaza) y las mezclas antes y después de ensilar .....	76
Cuadro 3. Análisis de varianza para el análisis químico proximal de	

ensilados con residuos sólidos de excretas porcinas, forraje (caña de azúcar o heno de avena) y una cantidad fija de melaza.....	77
Cuadro 4. pH de los ingredientes (residuos sólidos de excretas porcinas, forraje y melaza) y las mezclas antes y después de ensilar.....	78
Cuadro 5. Análisis de varianza para pH de ensilados con residuos sólidos de excretas porcinas, forraje (caña de azúcar o heno de avena) y una cantidad fija de melaza.....	79
Cuadro 6. Fracciones de la fibra de los ingredientes (residuos sólidos de excretas porcinas, forraje y melaza) y las mezclas antes y después de ensilar.....	80
Cuadro 7. Análisis de varianza para las fracciones de la fibra de ensilados con residuos sólidos de excretas porcinas, forraje (caña de azúcar o heno de avena) y una cantidad fija de melaza.....	81
Cuadro 8. Carbohidratos solubles (glucosa-xilosa) de los ingredientes (residuos sólidos de excretas porcinas, forraje y melaza) y las mezclas antes y después de ensilar.....	82
Cuadro 9. Concentración (%) de carbohidratos solubles totales de los ingredientes (residuos sólidos de excretas porcinas, forraje y melaza) y las mezclas antes y después de ensilar.....	83
Cuadro 10. Análisis de varianza para los carbohidratos solubles (glucosa-xilosa mg/g) de ensilados con residuos sólidos de excretas porcinas, forraje (caña de azúcar o heno de avena) y una cantidad fija de melaza.....	84
Cuadro 11. Análisis de varianza para los carbohidratos solubles totales de ensilados con residuos sólidos de excretas porcinas, forraje (caña	



de azúcar o heno de avena) y una cantidad fija de melaza.....	84
<b>Cuadro 12. Fracciones de la proteína de los ingredientes (residuos sólidos de excretas porcinas, forraje y melaza) y las mezclas antes y después de ensilar.....</b>	<b>85</b>
<b>Cuadro 13. Análisis de varianza para fracciones de la proteína de ensilados con residuos sólidos de excretas porcinas, forraje (caña de azúcar o heno de avena) y una cantidad fija de melaza.....</b>	<b>86</b>

### LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1. Efecto de la interacción forraje x residuos sólidos de excretas porcinas (RSEP), sobre el contenido de materia seca, de ensilados elaborados con RSEP, forraje (caña de azúcar o heno de avena) y melaza.....</b>	<b>87</b>
<b>Figura 2. Efecto de la interacción forraje x residuos sólidos de excretas porcinas (RSEP), sobre el pH de ensilados elaborados con RSEP, forraje (caña de azúcar o heno de avena) y melaza.....</b>	<b>87</b>
<b>Figura 3. Efecto de la interacción forraje x residuos sólidos de excretas porcinas (RSEP), sobre el contenido de lignina, de ensilados elaborados con RSEP, forraje (caña de azúcar o heno de avena) y melaza.....</b>	<b>88</b>
<b>Figura 4. Efecto de la interacción forraje x residuos sólidos de excretas porcinas (RSEP), sobre el contenido de la fracción B2 de la proteína de ensilados elaborados con RSEP, forraje (caña de azúcar o heno de avena) y melaza.....</b>	<b>88</b>

**Ayala Martínez Maricela. “Carbohidratos solubles, fracciones de la fibra y de la proteína en ensilados con excretas porcinas, esquilmos agrícolas y melaza”, bajo la asesoría de Francisco A. Castrejón Pineda, Aurora Hilda Ramírez Pérez, Silvia Elena Buntinx Dios, Ma. Antonieta Aguirre García.**

El objetivo del presente estudio fue evaluar el valor nutricional de ensilados elaborados con residuos sólidos de excretas porcinas (RSEP), heno de avena (HA) o caña de azúcar (CA) y una cantidad fija de melaza (8%). En un diseño completamente al azar en arreglo factorial 2 (tipos de forraje) x 3 (nivel de RSEP). Se integraron seis tratamientos (T), con 6 repeticiones cada uno. T1, T2 y T3 incluyeron HA con 60, 70 u 80% de RSEP; T4, T5 y T6 incluyeron CA con 60, 70 u 80% de RSEP, respectivamente, en base húmeda. Los ensilados se realizaron en recipientes de plástico y después de 30 días se abrieron; previa homogeneización se midió el pH. El material obtenido se deshidrató a 60° en una estufa de aire forzado para la determinación del análisis químico proximal (AQP) y fracciones de la fibra. Otra parte se liofilizó, para la obtención de los carbohidratos solubles (CHOS) y las fracciones de la proteína. Se realizaron las siguientes determinaciones: materia seca (MS), proteína cruda (PC), fibra cruda (FC), extracto etéreo (EE), cenizas (CEN), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FAD), lignina (L), celulosa (CEL), hemicelulosa (HCEL), carbohidratos solubles (glucosa-xilosa) (CHOS), carbohidratos solubles totales (CHOST), fracciones de la proteína: A (nitrógeno no proteico (NNP)), B1 (proteína verdadera soluble), B2 (proteína verdadera insoluble), B3 (proteína verdadera insoluble en detergente neutro) y C (proteína insolubles en detergentes). Los datos obtenidos se analizaron mediante un análisis de varianza. Para alcanzar la normalidad, los resultados de MS, EE y B3 se sometieron a una transformación de Box-Cox. El efecto de la interacción tipo de forraje por nivel de RSEP modificó el pH, MS, LIG, y la fracción B2 de la proteína. El tipo de forraje modificó el porcentaje de PC, FC y la fracción C de la proteína. El nivel de RSEP modificó el porcentaje de CEN, FAD y CEL en los ensilados elaborados con RSEP, heno de avena o caña de azúcar y melaza. En las condiciones de este estudio se concluye que los

ensilados con ambos forrajes, con el nivel de inclusión de RSEP de 70% presentaron un valor nutritivo que puede ser una alternativa de alimentación para los rumiantes.

## I. INTRODUCCIÓN

La industria porcina en México cuenta con una población aproximada de 15 millones de cerdos que se crían en sistemas tecnificados (50% de la producción nacional), semitecnificados (30 %) y de traspatio (20%); este último reduce su tamaño en cada crisis económica (1). Si en promedio, un cerdo elimina al día alrededor de 5.4 kg. de excretas, el problema de acumulación de materia fecal en las granjas es serio, por la alta densidad de animales (2). Al no saber como realizar el manejo de excretas, al no contar con espacios suficientes y sistemas adecuados de tratamiento, un buen número de granjas dirige las excretas al lecho de arroyos o barrancas. Sin embargo, esta forma de eliminar los desechos produce un daño ecológico cada vez más grave, ya que en el agua se produce la descomposición de la materia orgánica, aumentando la demanda bioquímica de oxígeno, que llega a impedir toda vida animal. Los elementos que contienen las excretas son: nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), los cuales se disuelven rápidamente, si hay acumulación de excretas en el suelo, estos se mineralizan lentamente, aunque en cierta cantidad, son utilizados por las plantas. Aquellos que no son absorbidos por las raíces, se filtran a través del suelo y en las primeras lluvias pueden llegar hasta aguas subterráneas, causando la contaminación de mantos acuíferos que abastecen a poblaciones humanas y animales, existiendo el riesgo de provocar intoxicaciones masivas (3). Las excretas de los porcinos acumuladas en gran cantidad en lagunas de fermentación han causado problemas de contaminación ambiental, como liberación de amoniaco, metano, bióxido de carbono y ácido sulfúrico al ambiente (4,5). Esto ha aumentado el riesgo de

transmisión de enfermedades bacterianas, virales y parasitarias, que afectan al hombre y animales (5,6).

Para poner fin a esta situación se ha legislado la emisión máxima de residuos sólidos que deben presentar los afluentes de las granjas (7), lo que ha obligado a buscar alternativas para la utilización de las excretas. Las propuestas incluyen su uso como fertilizantes, producción de biogas y como ingrediente en la alimentación animal (3,8,9).

Cabe mencionar que como ingrediente las excretas de cerdo son fuente de nutrientes, como proteína, energía, minerales, vitaminas del complejo B y vitamina A. Se pueden utilizar con eficiencia en rumiantes, ya que éstos pueden transformar el nitrógeno no proteínico presente en las excretas, en proteína microbiana, además, la proteína de los alimentos no digerida en el tracto digestivo, así como cierta cantidad de carbohidratos. Aunado a esto, la inclusión de excretas en las dietas reduce los costos de producción y disminuye la competencia por granos de cereales y pastas de oleaginosas destinados al consumo de no rumiantes o el hombre (2,10,11).

Por lo anterior, las excretas no deben considerarse como simplemente desperdicio sino como una materia prima disponible todo el año. En trópico seco, por ejemplo, se presentan épocas de sequía prolongada, por lo que si se dispone de ellas y otros subproductos como melaza y bagazo de caña, existe una posibilidad más para la alimentación del ganado (12).

Sin embargo, este tipo de ingredientes no debe proporcionarse a los animales sin un tratamiento previo que elimine los riesgos de reciclar enfermedades. Para ello existen tratamientos físicos, químicos y biológicos.

Entre los últimos se encuentra el ensilaje, el cual tiene sus ventajas, ya que además de ser económico, logra controlar microorganismos patógenos y olores desagradables, incrementando la aceptación por el animal y disminuyendo la pérdida de nutrientes. La principal desventaja del ensilaje sobre la utilización directa de las excretas, es que aumenta el manejo o trabajo para recolectar, transportar y ensilar el material. Generalmente, para controlar el contenido de humedad, las excretas se mezclan con pajas y otros subproductos agropecuarios con mínimo porcentaje de humedad (2,13,14). Además es común que se utilicen subproductos ricos en carbohidratos solubles, como la melaza de caña o de remolacha, tubérculos o forrajes ricos en ellos. Estos son indispensables entre un 6 y 8 % para favorecer el proceso de fermentación (8,11,15). La mezcla de las excretas con subproductos modifica el valor nutritivo, y probablemente, el proceso de ensilaje también causa alteración en la composición nutricional de los ensilados, lo que es necesario que se analice.

Actualmente, la caracterización nutricional de los ingredientes que se utilizan para balancear raciones de rumiantes incluye la determinación del contenido de carbohidratos solubles, cantidad de las fracciones de la fibra, principalmente contenido de lignina, porcentaje de fibra detergente neutro, detergente ácido, así como las fracciones de proteína (sistema de carbohidratos solubles y proteína metabolizable, también conocido como sistema de la Universidad de Cornell, que ha adoptado el National Research Council (16). Estas determinaciones en ensilados de excretas porcinas no han sido suficientemente estudiadas, razón por la cual se realizó la presente investigación.

## II. ANTECEDENTES

### **2.1 Excretas porcinas**

Los desechos producidos en las granjas porcinas conocido como cerdaza, se compone de una tercera parte de sólidos, dos terceras partes de orina y residuos de alimento de la granja, los cuales se canalizan por medio de lavado o golpeteo con agua a una fosa, produciendo de esta manera aguas residuales que equivalen del 4 al 8% del peso vivo del animal (40-50 litros/animal/día) (6,17,18).

### **2.2 Las excretas como contaminantes**

La producción pecuaria intensiva donde se confinan grandes poblaciones animales en áreas reducidas, ha hecho posible obtener una elevada producción de proteína animal, sin embargo ha provocando serios problemas, uno de los peores es la contaminación ambiental, el cual debe resolverse (3). Las excretas porcinas son contaminantes potenciales a causa de la elevada concentración de organismos patógenos (bacterias, hongos, virus, parásitos), materia orgánica y minerales (N, P, K, cobre (Cu), cinc (Zn)) (8). Al existir acumulación de excretas se forman compuestos químicos y gases tóxicos como el CO<sub>2</sub>, amoníaco, metano y sulfuro de hidrógeno. Este último, al entrar en contacto con el agua, produce ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), afectando el desarrollo de la vegetación. La acumulación de N en forma de nitratos y nitritos puede llegar a contaminar el agua. Del mismo modo, el elevado contenido de

materia orgánica aumenta la demanda bioquímica de oxígeno, que al disminuir su concentración en el agua impide toda vida animal. Los elementos minerales N, P y K se disuelven rápidamente haciéndose disponibles para los vegetales, incrementando la proliferación y crecimiento de algas. Como consecuencia disminuye la cantidad de rayos ultravioleta que penetran el agua, produciéndose un descenso en la temperatura, provocando la muerte de las algas, y con ella la disminución de oxígeno. Así, se forma un ciclo llamado eutroficación (3,19,20,21).

Las excretas producen olores ofensivos, que dañan considerablemente a las poblaciones aledañas. El aumento de excretas almacenadas y vertidas en tierras de cultivo sin un tratamiento previo causa la proliferación de moscas y otros insectos que alejan a aves y otras especies del lugar, ocasionando ruptura de una o varias cadenas ecológicas. La acumulación de excretas también produce desprendimiento hacia la atmósfera de efluvios de amoníaco contribuyendo, en gran medida a la lluvia ácida (3,22,23,24).

### ***2.3 Normas oficiales mexicanas relacionadas con la emisión de excretas.***

**NOM-001-ECOL-1996. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de enero 1997.** Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las descargas de agua residuales vertidas a aguas y bienes nacionales. Establece fechas de cumplimiento, dependiendo de, si las descargas son o no municipales, así como el rango de población y carga de contaminantes. Para este último punto incluye la demanda bioquímica de



oxígeno (DBO) y los sólidos suspendidos totales (SST). Dicha norma se encuentra vigente desde el 1° de enero del 2000, hasta el 2005, y 2010 (25).

**NOM-002-ECOL-1996. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de junio 1998.** Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para la descarga de aguas residuales, exceptuando las domésticas, a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano y municipal (26).

**NOM-003-ECOL-1997. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 21 de septiembre 1998.** Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las descargas de aguas residuales tratadas que se reutilicen en servicios públicos (27).

#### **2.4 Leyes relacionadas con la emisión de excretas.**

- ✓ Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, 1988 (Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca) (19).
- ✓ Ley de Aguas Nacionales, 1992 (Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca) (28).
- ✓ Ley General de Salud, 1991 (Secretaría de Salud) (29).
- ✓ Ley Federal de Derechos en Materia de Agua, 1991 (Secretaría de Hacienda y Crédito Público) (30).

#### **2.5 Utilización de las excretas**

A raíz del alto grado contaminante de las excretas, ha sido necesario utilizarlas como fertilizantes, para obtención de biogás y como ingrediente en la alimentación animal.

- a) *Fertilizante.* Tomando en cuenta que la fertilización no se puede realizar todo el año, se debe de contar con instalaciones para el almacenamiento de excretas, recordando que con almacenamientos prolongados una porción del N orgánico se convierte en N amoniacal y se volatiliza (6,31).
- b) *Obtención de biogás.* El biogás se origina a partir de la digestión anaerobia, también llamada fermentación metánica de las excretas, de donde se obtiene una mezcla de metano (60-65%), trazas de sulfuro de hidrógeno, nitrógeno, gas carbónico y vapor de agua. Además, se produce un residuo semisólido, inoloro rico en N, llamado bioabono, libre de organismos patógenos y cuyos elementos fertilizantes son más eficientemente utilizados por las plantas, ya que el 50% de los elementos fertilizantes se encuentran en forma mineralizada, lo anterior permite producir combustible a partir de la fermentación de materia orgánica (2,32).
- c) *Como ingrediente en la alimentación animal.* Debido a su contenido de N y su riqueza mineral las excretas tienen más valor como alimento que como fertilizante, por lo tanto se utilizan principalmente en dietas para rumiantes (11, 33,34). Los sólidos tamizados de excretas porcinas, colectados con una criba, pueden servir como fuente de energía más que de proteína, debido a que esta última se pierde en el líquido (35). Por lo tanto la digestibilidad aparente y el valor biológico de la proteína disminuyen linealmente al aumentar la cantidad de cerdaza incluida en la dieta (10,36,37). Ya que los microorganismos del rumen pueden utilizar compuestos tales como nitrógeno no proteínico, carbohidratos estructurales y solubles de los granos que no alcanzan a digerir los cerdos, dichos compuestos son

transformados en el rumen en proteína microbiana, ácidos grasos volátiles y otros nutrientes, los cuales son aprovechados por los rumiantes para funciones productivas y reproductivas (38,39). El estiércol, al ser utilizado para alimentar al ganado, debe llevar un tratamiento previo, ya sea químico, físico o biológico, para disminuir su patogenicidad y aumentar la palatabilidad, siempre y cuando no aumente los costos y el proceso sea compatible con el clima, tipo de confinamiento y método de alimentación utilizado (3,11,35,40,41).

## **2.6 Tratamiento de excretas**

Los tratamientos para las excretas pueden ser físicos, químicos y biológicos.

El **tratamiento físico** incluye desecación con aire natural, secado con aire caliente y separación de líquidos y sólidos.

- *Desecación o deshidratación natural.* Consiste en exponer las excretas a los rayos solares y voltearlas periódicamente en un terreno amplio. Las ventajas de este método son la nula utilización de energía eléctrica, mínimo costo, fácil almacenamiento e incorporación en la dieta. Es un procedimiento útil en zonas áridas y semiáridas. Las desventajas son: pérdida de nitrógeno de 35-45%; el material resultante muestra una mayor concentración de patógenos y causa proliferación de moscas y olores indeseables (2,4,10).
- *Desecado con aire caliente.* Consiste en introducir en un almacén las excretas y aplicar aire caliente hasta que lleguen al punto de deshidratación.

Tiene como ventajas una adecuada aceptación por el animal, eliminando la mayor cantidad de patógenos a temperaturas elevadas y deodorización de las heces. Las desventajas son: elevada pérdida de nutrientes y altos costos por concepto de equipo y mantenimiento del mismo (2,4,10,11).

- *Separación de sólidos y líquidos.* Se utiliza para recuperar el alimento no digerido y así disminuir la cantidad de humedad. Se realiza por medio de fosas de gravedad y separadores de cascada, tambores o tornillos de prensa. Con este tratamiento se reduce el volumen a tratar, el producto tiene buena aceptación por el animal y es fácil de almacenar. Sin embargo si los líquidos no se utilizan la pérdida de nutrientes es elevada, y la retención de sólidos de escaso valor nutricional, alto costo de mantenimiento, así como la inversión inicial. Esto hace que este método sea más recomendado en granjas con alta producción. Desde 1982 en varias granjas de México se ha instalado este sistema para el manejo y aprovechamiento del estiércol de cerdo(2,4,10,11,35).

Los **tratamientos químicos** consisten en mezclar bactericidas biodegradables con estiércol, utilizar disolventes para extraer proteínas, o en adicionar otros químicos como productos enzimáticos o coagulantes inorgánicos (4,10,11).

Los **tratamientos biológicos** son procesos de fermentación microbiana anaerobia o aeróbica. En la fermentación aeróbica sobresale la fosa de oxidación y la producción de composta. En la fermentación anaerobia se incluyen la fermentación microbiana en lagunas o fosas y el ensilaje. Este es un proceso fermentativo anaerobio en el cual se preservan la mayor cantidad

de nutrientes ya que solamente se degradan carbohidratos solubles y algunos compuestos nitrogenados (4,10,13,40,41).

## **2.7 Ensilaje**

En el ensilaje mediante la compactación y extracción de aire, se produce una atmósfera anaerobia, adecuada para el desarrollo de ciertas bacterias, productoras de ácido láctico, propiónico y butírico, a partir de carbohidratos solubles de fácil fermentación. Lo cual ocasiona una disminución del pH abajo de 4, con lo cual se inhibe la actividad de putrefacción y evita cambios posteriores en la composición química del producto almacenado, al alcanzar la estabilización (42,43). Este tratamiento es conveniente para controlar olores y microorganismos patógenos mejora la palatabilidad, el aspecto del producto, y el consumo voluntario, además la pérdida de nutrientes es relativamente reducida (2,44, 45,46).

El estiércol de cerdo sólo tiene un valor equivalente al de un forraje y no es una fuente importante de energía o proteína (13). Al alimentar animales prácticamente sólo con estiércol de cerdo se observaron alteraciones en los patrones de fermentación ruminal (11), por esta razón, se ha utilizado en el proceso de ensilaje, las excretas mezcladas con otros subproductos (10,11,13). Existe la posibilidad de incorporar subproductos agro industriales de los granos, pajas o rastrojos, para disminuir el exceso de humedad, lo que favorece el proceso de ensilaje de las excretas de cerdo debido a que disminuyen el exceso de humedad de las excretas y aumentan la producción de ácido láctico (46). El nivel de subproductos utilizados modifica el valor nutritivo de los

ensilados, por lo que se ha recomendado proseguir con investigación cuando se utilicen subproductos diferentes a la paja de trigo (15) o al bagazo de caña (8).

En regiones en las que se produce paja o heno de avena o punta de la planta de caña de azúcar picada en verde, es posible que estos ingredientes sean utilizados por su baja humedad y elevada cantidad de carbohidratos solubles en ensilados de excretas porcinas(46).

### **2.7.1 Características de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) que favorecen el proceso de ensilaje de excretas.**

La caña de azúcar es una gramínea perenne, de no muy larga vida (10-12 años), crece en todas las zonas tropicales, es una eficiente fijadora de energía solar, lo cual se refleja en la producción de biomasa, de 276-395 ton/ha/año. Su principal característica es que se cosecha en época de secas, cuando la escasez de alimento en trópico seco es crítica. Las diferentes partes de la caña (tallo, punta, limbos secos y vainas) difieren en su calidad nutritiva, siendo los limbos y las vainas las partes de menor composición nutricia. Otra característica importante es que el valor nutritivo de la planta varía muy poco con la edad después de los ocho meses de rebrote. Por esta razón, la planta puede permanecer en los sembradíos hasta que se requiera, sin que se modifiquen mucho sus propiedades nutritivas. Ya cortada, la caña puede almacenarse hasta por una semana, sin que ocurran cambios significativos en su composición (47,48,49,50).

En la época de sequía hay déficit de forraje, con lo cual se podrían diseñar sistemas de alimentación basados en caña todo el año, sin embargo, las dificultades de cosecha en época de lluvias por la alta humedad del suelo, provoca que en muchos lugares donde se inunda sea imposible realizar labores agrícolas. Por lo tanto, el ensilaje de caña realizado en época de secas representa una solución viable, permitiendo trabajar en un esquema inverso: forraje de caña fresca picado y complemento en la estación seca y ensilado para la estación de lluvias. Una razón para ensilar la caña de azúcar es que una fermentación controlada bajo condiciones anaerobias podría mejorar su valor nutritivo al aumentar su contenido de proteína verdadera (por crecimiento microbiano), y la concentración de ácido láctico (51). Por ejemplo, al fermentar excreta vacuna con caña de azúcar, incrementó el contenido de proteína verdadera de esta gramínea en un 80% (52). Por lo tanto el uso de la caña de azúcar como sustrato para la fermentación es ventajoso, debido a los elevados contenidos de carbohidratos solubles (66.6%) y contenido celular (61.8%), así como por el mínimo contenido de proteína bruta (2.6%) (53).

### ***2.7.2 Características de la melaza que favorecen el proceso de ensilaje de excretas.***

La variación en nutrimentos y el elevado contenido de fibra en algunos subproductos de la caña de azúcar tales como el bagazo o médula, no permiten que éstos sean utilizados como única fuente de alimento para los rumiantes(47). La melaza es el residuo que queda después de haber cristalizado la mayor parte posible de azúcar existente en el jugo, una vez

purificado y condensado por evaporación. La melaza es un líquido espeso, de color oscuro y olor característico. Se utiliza como saborizante, aglutinante, en la producción de licores y como alternativa en la alimentación animal con mayor frecuencia cuando hay escasez de pastos. La melaza de caña es muy apetecida por el ganado y tiene, además, un efecto laxante. Contiene 55% de azúcar, que es lo que da la mayor parte de su valor nutritivo, 2% de proteína, es rica en niacina y ácido pantoténico, pobre en tiamina, riboflavina, vitamina A y D (54).

La melaza de caña de azúcar se utiliza como alimento de ganado vacuno lechero y de engorda, ovejas y caballos, pero también puede ser utilizada en cantidades limitadas en cerdos y aves (50). Es un ingrediente relativamente económico y su uso se intensifica por su sabor al mezclarla con esquilmos agrícolas, como pajas y rastrojos, para incrementar el consumo. Además es muy útil para la elaboración de ensilados por su riqueza en carbohidratos solubles que son indispensables para la fermentación láctica. Para la utilización de melaza es necesario diluirla con agua, ya que esto facilita su manejo, reduciendo costos y facilitando su mezclado con otros ingredientes(48,54,55).

### **2.7.3 Características del heno de avena que favorecen el ensilaje de excretas.**

La avena común (*Avena sativa*) es una gramínea anual; su altura varía de 70-150 cm, ofreciendo un rendimiento promedio de 50 ton de forraje fresco/ha y 14 ton de forraje seco/ha. Es un cultivo invernal de regiones



templadas y frías que crece en suelos livianos y húmidos y es cultivo de temporal. El valor nutritivo se modifica con las condiciones climáticas, suelo, variedad cultivada y edad de la planta. Su grano se utiliza directamente en la alimentación humana y animal (bovinos, ovinos, equinos y cerdos), se obtienen diferentes productos como el salvado de avena, pienso (80% cascarilla y 20% residuos de grano), heno y paja de avena. El heno es de buena calidad, sobre todo sino está mezclado con tallos de otras plantas. Se puede utilizar para alimentar a todas las especies de ganado, aunque se ha afirmado que comunica un sabor desagradable a la leche de bovinos, por parásitos que afectan al heno. Así también, se le atribuye que produce leche de mala calidad quesera por su baja cantidad de energía (55,56).

El heno de avena se utiliza en la alimentación del ganado como fuente principal de materia seca y fibra, el aporte de otros nutrientes es relativamente bajo, por las pérdidas debidas a la deshidratación del proceso a que es sometido. Se usa en forma directa fundamentalmente en la alimentación de equinos y ganado vacuno. Debido a su alto contenido de pared celular, al incluir el heno de avena en mezclas sometidas al proceso de ensilaje, se mejorara su digestibilidad, consumo y aprovechamiento de los nutrientes que contiene (52,55,56).

Debido a que el heno de avena es un producto altamente disponible en las regiones de clima templado, es posible su inclusión en ensilados con excretas animales, sin embargo, su comportamiento y las modificaciones que produce en el contenido nutricional de los ensilados son poco conocidos.

## **2.8 Las fracciones de la proteína en los alimentos.**

Hasta hace poco, el valor estimado de proteína aportada por los alimentos para rumiantes se expresó como proteína cruda y proteína digestible. Esto fue suficiente para el balanceo de dietas en rumiantes con una producción moderada. Cuando surgió la necesidad de utilizar más eficientemente el potencial productivo de los rumiantes, fue necesario conocer, estimar y cuantificar la degradación de la proteína dentro del sistema digestivo de estas especies. De esta manera, la investigación llevó al fraccionamiento de la proteína con base en su solubilidad y degradabilidad, obteniendo diferentes fracciones de la proteína en el alimento, según la cantidad de degradación ruminal o escape de las fracciones consumidas hacia la digestión intestinal o hacia la excreción por los animales (16).

La proteína de los alimentos se divide en tres fracciones principales:

- La **fracción A** se refiere al nitrógeno no proteínico (**NNP**), es rápidamente degradada en el rumen y muy soluble (16,57,58,59).
- La **fracción B** es proteína verdadera y se subdivide en tres fracciones: **B1**, es rápidamente degradada en rumen; **B2**, se degrada parcialmente tanto en rumen como en intestino delgado; **B3**, se degrada lentamente en el rumen, ya que está asociada a la pared celular y, por lo tanto, será degradada en el intestino delgado en su totalidad y será utilizada para producción, actuando como una proteína de sobrepaso (16,57,58,59).
- La **fracción C** es proteína insoluble asociada a lignina, por lo que no puede degradarse en rumen, ni tampoco en intestino delgado; es proteína

no utilizable por el animal ni por los microorganismos ruminales (16,57,58,59).

### **2.9 Las fracciones de la fibra en los alimentos.**

Las plantas en estadios vegetativos tempranos o en pleno crecimiento tienen una sola capa en su pared celular, de escaso espesor (pared primaria). A medida que la planta madura e inicia su fase reproductiva, se forma una segunda capa interna de mayor espesor (pared secundaria), cuyos principales componentes son celulosa y hemicelulosa, los cuales en estados avanzados de maduración pueden constituir más del 50% de la composición total del forraje. Los rumiantes pueden digerir parcialmente estos compuestos gracias a su simbiosis con los microorganismos ruminales. Así, la celulosa y la hemicelulosa se transforman en fuentes energéticas aprovechables. Cuando la planta avanza más en su estado de madurez, se deposita lignina entre la celulosa y la hemicelulosa para conferir resistencia y rigidez a la pared, pero este compuesto es indigestible aún para las bacterias ruminales. Por lo tanto, la lignina disminuye la digestibilidad de celulosa y hemicelulosa, y el aprovechamiento eficiente del forraje (58,59,60).

El análisis de Van Soest permite conocer el contenido de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA). La FDN comprende todos los componentes de la pared celular (celulosa, hemicelulosa, lignina, y sílice). A medida que el porcentaje de FDN aumenta en la planta, la tasa de digestión es más lenta, y el tiempo de pasaje por el tracto digestivo es mayor, siendo inversamente proporcional a la capacidad de consumo que los animales

tendrán sobre ese alimento. Del total de fibra de la dieta, la FDN corresponde a la parte insoluble. La digestibilidad de la fracción insoluble esta en función de la degradabilidad ruminal y en menor medida de la digestión en intestino delgado. La degradabilidad media de la FDN, contenida en los forrajes habituales es de un 60% (50% en rumen y 10% en intestino grueso), las pectinas de la pared celular son totalmente degradadas en rumen. Cuando esta fracción se somete a digestión con una solución detergente ácido, se desprende (solubiliza) la cantidad correspondiente a la hemicelulosa y pectinas (58,61,62).

Por lo tanto la FDA permite conocer el contenido de las fracciones de celulosa, lignina y sílice, del forraje. Estos compuestos tienen una correlación negativa con la digestibilidad de la materia seca y un menor contenido energético aprovechable (59).

La celulosa, hemicelulosa y pectinas son carbohidratos estructurales, la fermentación de la celulosa en el rumen, da origen principalmente a ácido acético, precursor de la grasa butirica de la leche. El porcentaje de fibra en la dieta es fundamental para el correcto funcionamiento ruminal y una adecuada remasticación del alimento. La falta de fibra produce problemas de acidosis, disminución de consumo, bajo porcentaje de grasa en la leche y alteraciones de las extremidades. El exceso de fibra, en cambio, da como resultado dietas pobres en energía y proteína, así como una digestión lenta, que se traduce en un consumo disminuido (63,64,65).

## **2.10 Carbohidratos solubles.**

Con el fin de analizar los compuestos disponibles para los animales, los carbohidratos se han clasificado en dos grupos: estructurales y no estructurales. Los carbohidratos estructurales están en la pared celular. Los no estructurales o solubles, están dentro de las células, son más digestibles y son azúcares como el almidón, sacarosa y fructosa. La principal función de los carbohidratos solubles en la dieta del animal es proveer de energía a los microorganismos del rumen y al animal; además de mantener la salud del tracto intestinal, y de esta manera, aumenta la productividad de los animales (16,59,66).

Para evitar problemas de acidosis metabólica, la máxima concentración de carbohidratos no estructurales incluidos en la dieta, debe oscilar entre 30 y 40% de la ración en base seca (67).

Las enzimas microbianas hidrolizan prácticamente todos los carbohidratos solubles y buena parte de los carbohidratos estructurales. Los azúcares productos de esta hidrólisis se utilizan como fuente energética por la flora microbiana, que los cataboliza y genera ácidos grasos volátiles (AGV), la mayor parte de los cuales se absorbe a través de la pared ruminal. Los AGV representan aproximadamente el 60% (hasta 80% en forrajes) de la energía absorbida por el rumiante (16,59,64).

Los alimentos con elevado contenido en azúcares solubles fermentan rápidamente y estimulan el desarrollo de protozoarios ciliados que almacenan estos azúcares e impiden que sean utilizados como fuente energética por otros microorganismos, regulando la utilización de carbohidratos solubles que

provocan un descenso de pH por parte de las bacterias amilolíticas. Por lo tanto al inhibirse la fermentación ruminal, se mantiene un pH por arriba de 6.0, lo que dificulta el desarrollo de una flora amilolítica, por lo que se reduce la generación de ácido propiónico y se favorece la actividad de las bacterias celulolíticas (59).

El almidón que escapa de la fermentación ruminal se hidroliza y la glucosa se absorbe en el intestino delgado. Los carbohidratos del alimento deben desaparecer a través y a lo largo del tubo digestivo y se clasifican por la velocidad de degradación, al igual que la proteína. Así, los carbohidratos más solubles serán más fácilmente degradables y los insolubles pueden no ser parcialmente digeridos (16,61,66).

## JUSTIFICACIÓN

Actualmente, las recomendaciones de necesidades nutricionales para rumiantes señalan, como parte de las características de las raciones, las fracciones de la fibra, de la proteína y el contenido de carbohidratos solubles, debido a que estos compuestos influyen directamente en el consumo de los animales, así como en la tasa de pasaje del alimento por el tracto digestivo, mejorando la producción del ganado. La cantidad de estas fracciones no ha sido suficientemente estudiada en ensilados con residuos sólidos de excretas porcinas (RSEP) además de que su concentración puede variar en función de la dieta que consuman los cerdos, etapa productiva y subproductos utilizados para las mezclas. Por lo anterior se desarrolló este estudio de las fracciones indicadas en los ensilados con RSEP provenientes de una granja de ciclo completo.

## HIPOTESIS

- Los residuos sólidos de excretas porcinas (RSEP) no modifican el pH ni las características nutricionales determinadas a partir del análisis químico proximal, fracciones de la proteína, de la fibra y carbohidratos solubles, en ensilados elaborados con esos residuos, una cantidad fija de melaza y la proporción correspondiente de forraje.
- El tipo de forraje incluido en los ensilados con RSEP puede modificar el pH, y las características nutricionales determinadas a partir del análisis químico proximal, fracciones de la proteína, de la fibra y carbohidratos solubles, en ensilados elaborados con un determinado forraje, RSEP y una cantidad fija de melaza.



## OBJETIVOS

- Determinar el pH en ensilados con residuos sólidos de excretas porcinas adicionados con forraje y melaza.
- Realizar el análisis químico proximal (AQP) en ensilados con residuos sólidos de excretas porcinas adicionados con forraje y melaza.
- Determinar las fracciones de la fibra en ensilados con residuos sólidos de excretas porcinas adicionados con forraje y melaza.
- Determinar las fracciones de la proteína en ensilados con residuos sólidos de excretas porcinas adicionados con forraje y melaza.
- Determinar los carbohidratos solubles en ensilados con residuos sólidos de excretas porcinas adicionados con forraje y melaza.
- Determinar el nivel de inclusión de RSEP más adecuado en un ensilado según las características químicas del producto.
- Determinar el tipo de forraje más adecuado en ensilados con RSEP, según las características químicas del producto.

### III. MATERIAL Y METODOS

#### **3.1 Lugar donde se realizó la investigación.**

El experimento se llevó a cabo en el Laboratorio de Bromatología del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica, de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México. Los residuos sólidos de excretas porcinas (RSEP) se obtuvieron por medio de un sistema de tambor (separador de sólidos y líquidos) de la Granja "Veracruz", la cual es de ciclo completo y está ubicada en el municipio de Tultepec, Estado de México.

Los RSEP se transportaron al laboratorio en bolsas de plástico, donde se mezclaron con heno de avena (HA) picado a 2.5 cm (obtenido del poblado de Parres, de la Delegación Tlalpan) o con caña de azúcar (CA) (obtenida del municipio Puente de Ixtla en Morelos), de acuerdo con el tratamiento respectivo, en tres proporciones distintas y una cantidad fija de melaza de caña (M) (obtenida del Centro de Investigación y Extensión en Producción Ovina (CEIEPO) de la FMVZ-UNAM, localizado en el poblado de Tres Marías, Morelos). De esta manera se integraron seis tratamientos (Cuadro 1).

#### **3.2 Diseño experimental**

Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial: tres niveles de RSEP(en base húmeda 60, 70 y 80%) y dos tipos de forraje caña de azúcar (CA) y heno de avena (HA), integrando seis tratamientos con seis repeticiones cada uno.

### **3.3 Elaboración de microsilos**

Los ingredientes que conforman cada tratamiento se pesaron en base húmeda para integrar 10kg. Se mezclaron manualmente en un recipiente de plástico, de este, antes de llenar los microsilos se tomó una muestra de cada tratamiento (aproximadamente de 250 g) y se conservó en congelación (-20°C) para su análisis posterior en el laboratorio. Con el material restante se elaboraron seis microsilos, utilizando frascos de plástico de 1.2 kg aproximadamente de capacidad. El material colocado en capas de 5 cm aproximadamente se compactó perfectamente, utilizando una botella de fondo plano hasta completar la máxima capacidad. Los microsilos se cerraron herméticamente, sellando las tapas con silicón y se guardaron en cajas de unisel, para evitar variaciones externas de la temperatura. Transcurridos 30 días los microsilos se destaparon, se eliminó la parte superior (aproximadamente 10 cm) y se homogeneizó el resto del contenido, mezclando manualmente en una bolsa de plástico, de la cual se tomó una muestra representativa (aproximadamente de 100 g) e inmediatamente se determinó el pH utilizando un potenciómetro conductronic pH 20 y la materia seca, en una estufa de aire forzado RIOSSA, modelo HS-62 a 60°C hasta peso constante, siguiendo la metodología de Tejada (67). El resto del material ensilado se colocó en bolsas de plástico perfectamente selladas e identificadas, manteniéndolas en congelación (-20°C) para posteriormente ser analizadas. Otra parte de las muestras (aproximadamente 40 g) se liofilizaron en una liofilizadora HETOFD3 Lab Equipment, y se molieron en un molino de cuchillas Thomas-Wiley, modelo 4.

### 3.4 Determinaciones

A cada una de las muestras obtenidas de los micrositos se les realizó por duplicado el análisis químico proximal (AQP), utilizando la metodología de AOAC (68) y el contenido de paredes celulares y las fracciones de la fibra (FDN, FDA, Lignina, celulosa y hemicelulosa) siguiendo la metodología de Van Soest y Winne (61), modificada por Waldern (69). En las muestras liofilizadas se determinaron las fracciones de la proteína (A, B1, B2, B3 y C) con base en la metodología de Krishnamoorthy (57). Para la fracción de nitrógeno no proteico (NNP) se utilizó la metodología de AOAC (68) y los carbohidratos solubles (glucosa-xilosa) siguiendo la metodología de Jonhson *et. al.* (70). Los carbohidratos solubles totales se determinaron por la fórmula de Sniffen *et. al.* (16):

EC.1.

$$\% \text{Carbohidratos solubles totales} = 100 - ( \% \text{FDN} + \% \text{PC} + \% \text{Cen} + \% \text{EE} )$$

Donde:

FDN = Fibra Detergente Neutro  
PC = Proteína cruda  
Cen = Cenizas  
EE = Extracto Etéreo

Las técnicas completas de la determinación de fracciones de la proteína y carbohidratos solubles (glucosa-xilosa) se describen en los Anexos.

### 3.5 Análisis estadístico

Debido a que los resultados de materia seca no tuvieron una distribución normal, fue necesario transformarlos a logaritmo y los de extracto etéreo se transformaron a arcoseno de la raíz cuadrada del porcentaje, la fracción B3 de la proteína, tampoco tuvo una distribución normal por lo que se realizó una

transformación de Box-Cox. Con el programa JMP (SAS) se realizó el análisis de varianza para el diseño experimental anteriormente mencionado (71). El modelo experimental es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

$$i = 1,2,3$$

$$j = 1,2$$

$$k = 1,2,3,4,5,6$$

$Y_{ijk}$  = variable a medir

$\mu$  = media de la población

$\alpha_i$  = efecto del i-ésimo nivel del factor RSEP (i=1,2,3)

$\beta_j$  = efecto del j-ésimo nivel del factor tipo de forraje(j=1,2)

$(\alpha\beta)_{ij}$  = efecto de la interacción del i-ésimo nivel de  $\alpha_i$  y j-ésimo nivel de  $\beta_j$

$\varepsilon_{ijk}$  = Error experimental

Se realizaron un total de 18 análisis de varianza (hubo 18 variables de respuesta). Debido a que esto aumenta grandemente la probabilidad de cometer un error de tipo I, para proteger de esta posibilidad se dividió el valor de  $\alpha(0.05)$  entre el número de variables (18)

Así:  $0.05/18 = 0.0028$ .

Este fue el valor de P utilizado para indicar si un efecto fue significativo o no ( $P < 0.0028$ ).

#### IV. RESULTADOS

##### Análisis químico proximal (AQP)

El contenido de materia seca (**MS**) en las mezclas antes de ensilar fue mayor en las elaboradas con HA que en las que incluyeron CA, debido al contenido de MS que registraron las materias primas (M, 78.5%; HA, 95.3%; CA, 20.7% y RSEP 31.8%) (Cuadro 2).

En el contenido de MS de los ensilados se encontró un efecto significativo ( $P=0.0001$ ) de la interacción tipo de forraje X nivel de RSEP (Cuadro 3). Esta interacción se pueden observar en la Figura 1. Debido a que la CA contiene menor concentración de MS que los RSEP (Cuadro 2), los ensilados elaborados con este forraje (T4, T5 y T6) mostraron cantidades menores de MS ( $P=0.0001$ ) que los ensilados con HA. El nivel de RSEP fue significativo sobre la cantidad de MS; sin embargo, esta cantidad no se modificó al aumentar el nivel de RSEP en los ensilados con CA. Por el contrario, los ensilados que contenían HA (T1, T2, y T3) registraron menor cantidad de MS a medida que aumentó la cantidad de RSEP.

El contenido de proteína cruda (**PC**) en las materias primas fue: RSEP (14.3%), melaza (4.19%), caña de azúcar (4.50%) y heno de avena (9.52%) (Cuadro 2). En las mezclas antes de ensilar, el contenido de PC en las elaboradas con heno de avena fue similar en las diferentes proporciones de RSEP (12.80% en promedio); en cambio, en las mezclas integradas con caña de azúcar la cantidad de PC aumentó de 12.23% a 15.57% al incrementar el nivel de RSEP de 60 a 80%. El contenido de PC en los ensilados presentó un efecto significativo ( $P=0.0001$ ) del tipo de forraje (Cuadro 3): fue mayor en los

ensilados con HA ( $11.34\% \pm 0.16$ ) que en los ensilados con CA ( $10.33\% \pm 0.16$ ). En los ensilados con ambos forrajes, el contenido de PC fue menor que en las mezclas antes de ensilar (Cuadro 2).

El contenido de extracto etéreo (**EE**) en las materias primas se muestra en el Cuadro 2. La concentración de EE en la CA fue similar a la de los RSEP (7.13 y 6.09%, respectivamente). Estas cantidades fueron superiores al contenido de EE en HA y melaza (3.04 y 1.33%, respectivamente). En las mezclas antes de ensilar, la concentración de EE fue similar en los distintos tratamientos; este resultado se presentó también en los ensilados (Cuadro 2). El análisis de varianza (Cuadro 3) no indicó significancia de ningún efecto y el valor promedio de EE en los ensilados fue de  $6.39\% \pm 1.32$ .

En las materias primas el contenido de fibra cruda (**FC**) fue: RSEP, 24.88%; CA, 29.06%; HA 26.14% y melaza 0.06% (Cuadro 2). En las mezclas antes de ensilar el contenido de FC fue similar. En los ensilados el tipo de forraje tuvo efecto significativo ( $P=0.0003$ ) (Cuadro 3). Los ensilados con HA tuvieron menos FC ( $25.87\% \pm 0.82$ ) que los ensilados con CA, los cuales mostraron una concentración de  $30.55\% \pm 0.82$  de FC.

La concentración de cenizas (**CEN**) en las materias primas se muestra en el Cuadro 2. Fue mayor el contenido de CEN en la melaza (15.6%), pero como se incluyó de manera uniforme en todas las mezclas, el porcentaje de cenizas resultó similar en todos los tratamientos antes de ensilar. En cambio, en los ensilados, el análisis de varianza (Cuadro 3) mostró que el nivel de RSEP fue significativo ( $P=0.001$ ) para la concentración de CEN, obteniéndose menor concentración a medida que se incrementó la inclusión de RSEP

(10.41%  $\pm$  0.28; 9.97%  $\pm$  0.28; 8.86%  $\pm$  0.28) a 60%, 70% y 80%, respectivamente.

Los elementos libres de nitrógeno (ELN) se obtienen por diferencia de 100 y la suma de las otras determinaciones. Por esta razón, para esta variable el análisis estadístico no se realizó, ya que los resultados no provienen de una determinación analítica. No obstante, se puede mencionar que los valores no difirieron mucho en las mezclas antes y después de ensilar.

### **pH**

Aun cuando las materias primas utilizadas para la integración de los tratamientos presentaron valores muy diferentes de pH (RSEP 8.7, CA 3.8 y HA 5.9), las mezclas antes de ensilar registraron valores de pH similares, siendo el pH promedio de 5.6 (Cuadro 4).

El análisis de varianza (Cuadro 5) indicó un efecto significativo ( $P=0.0001$ ) de la interacción tipo de forraje X nivel de RSEP, como se muestra en la Figura 2. Los valores de los tratamientos T2 (4.18), T3 (4.23), T4 (4.24) y T6 (4.25) fueron similares entre sí, pero diferentes de los tratamientos T5 (4.37) y T1 (4.35). Por lo tanto, los ensilados presentaron de manera general un pH ácido, entre 4.18 y 4.37.

### **Fracciones de la Fibra**

El Cuadro 6 muestra el resultado de los análisis de las fracciones de la fibra de los ingredientes y las mezclas antes y después de ensilar. Para carbohidratos estructurales totales, también llamados paredes celulares (FDN),



no hubo efecto de los factores en estudio ( $P>0.0028$ ) (Cuadro 7). El promedio general fue de  $60.43\% \pm 0.31^*$  de FDN. Los valores fueron muy parecidos en las mezclas antes y después de ensilar (Cuadro 6).

La concentración de fibra detergente ácido (**FDA**) en los ingredientes fue similar, aunque la CA mostró un contenido ligeramente mayor ( $45.10 \pm 0.14$ ) que RSEP y HA ( $40.18 \pm 0.25$  y  $40.20 \pm 0.23$ , respectivamente). En los ensilados, el análisis de varianza indicó un efecto significativo ( $P=0.0001$ ) del nivel de RSEP para el contenido de FDA (Cuadro 7). Los ensilados con 70% de RSEP mostraron una mayor concentración de FDA ( $42.10\% \pm 0.66^*$ ) que con 60% ( $38.59\% \pm 0.66$ ) de RSEP. Los ensilados con 80% de RSEP presentaron una concentración de  $42.43\% \pm 0.66$  de FAD, similar a los ensilados con 70% de RSEP (Cuadro 6).

El contenido de lignina (**LIG**) fue diferente en todos los ingredientes. Las mezclas antes de ensilar con CA presentaron valores de LIG parecidos entre sí ( $10.24$ ,  $10.76$ ,  $10.12\%$ ), teniendo el mismo comportamiento aquéllas que contenían HA ( $7.34$ ,  $8.52$ ,  $9.06\%$ ) (Cuadro 6). En los ensilados, el análisis de varianza mostró un efecto significativo ( $P=0.0012$ ) de la interacción tipo de forraje x nivel de RSEP (Cuadro 7). Los ensilados con HA tuvieron valores similares, independientemente del nivel de RSEP, y los ensilados con CA mostraron un ligero aumento al incluir 70% RSEP y una clara disminución al incluir 80% RSEP (Figura 3).

El cuadro 6 muestra que el contenido de celulosa (**CEL**) en los RSEP y en el HA fue similar y ligeramente menor que en la CA. En las mezclas con HA antes de ensilar se obtuvo una concentración de CEL similar en los diferentes

tratamientos y ligeramente menor a las mezclas que contenían CA. En los ensilados el análisis de varianza (Cuadro 7) indicó un efecto significativo del nivel de RSEP para esta variable ( $P=0.0001$ ). Los ensilados con 60% de RSEP tuvieron una menor concentración de CEL ( $28.01\% \pm 0.64$ ) que los ensilados con 70% ( $31.09\% \pm 0.64$ ) u 80% ( $32.36\% \pm 0.64$ ) de RSEP.

Las materias primas mostraron un contenido de hemicelulosa (HCEL) en promedio de 21.05 % (Cuadro 6), por lo que las mezclas antes de ensilar presentaron concentraciones parecidas. Como puede observarse en el Cuadro 7, el análisis de varianza no mostró efecto significativo de los factores en estudio. La concentración promedio de HCEL en los ensilados fue de ( $19.20\% \pm 3.60$ ).

### **Carbohidratos solubles**

La concentración de carbohidratos solubles obtenida en las materias primas y en las mezclas antes y después de ensilar se muestra en los cuadros 8 y 9, para la medición glucosa-xilosa y los valores obtenidos por fórmula, respectivamente. En lo que se refiere a la medición de glucosa-xilosa de las materias primas (Cuadro 8), los forrajes HA (44.03mg/g) y CA (41.45mg/g) mostraron concentraciones muy similares entre sí, pero mayores al contenido obtenido en los RSEP (11.17mg/g) y la melaza (20.21mg/g). Las mezclas con HA antes de ensilar mostraron menor concentración de los carbohidratos solubles (glucosa-xilosa) que las mezclas después de ensilar, a diferencia de las mezclas que contenían CA, las cuales presentaron mayor concentración antes de ensilar que después del proceso. En lo que se refiere a los

carbohidratos solubles obtenidos por fórmula (Cuadro 9), la concentración obtenida en CA (12.3%) y HA (16.2%) fue mayor que la obtenida en los RSEP (8.2%), pero menor que la de la melaza (78.9%). Todas las mezclas después del proceso de ensilaje presentaron mayor concentración de carbohidratos solubles obtenidos por fórmula.

Los análisis de varianza correspondientes se encuentran en los cuadros 10 y 11. Para los carbohidratos solubles obtenidos por fórmula (Cuadro 11) no hubo efecto de los factores en estudio ( $P > 0.0028$ ). En cambio, el tipo de forraje (Cuadro 10) influyó en la concentración de carbohidratos solubles: glucosaxilosa. La mayor concentración se presentó en los tratamientos con HA ( $27.08\% \pm 0.64$ ) que en los de CA ( $18.97\% \pm 0.64$ ).

### **Fracciones de la proteína**

En las fracciones de proteína (Cuadro 12), en general, se encontró una mayor cantidad de la fracción B2, correspondiente a proteína verdadera que se degrada parcialmente en el rumen y parcialmente en intestino delgado. La segunda concentración de mayor importancia correspondió a la fracción A, que representa la parte más soluble, constituida principalmente por nitrógeno no proteínico (NNP). Las fracciones B1 (proteína verdadera que se degrada en el rumen), B3 (proteína verdadera no degradada en el rumen y degradada en el intestino delgado) y C (proteína no disponible, ligada a la lignina presente en la pared celular) fueron las fracciones menos abundantes en este tipo de materias primas. Por consiguiente, los ensilados presentaron un comportamiento similar.

Las fracciones **A**, **B1** y **B3** no presentaron efectos significativos ( $P < 0.0028$ ) (Cuadro 13). En cambio en la fracción **B2** la interacción tipo de forraje X nivel de RSEP fue significativa ( $P = 0.0001$ ) y para la fracción **C** el tipo de forraje resultó importante ( $P = 0.003$ ).

Para la fracción **A**, el promedio en los ensilados fue de  $38.14\% \pm 1.26$ ; para la fracción **B1** fue de  $6.10\% \pm 0.38$ , y para la fracción **B3**,  $1.86\% \pm 0.21$ .

La interacción de forraje x RSEP en la fracción **B2** se muestra en la Figura 4. En los ensilados con HA la concentración de B2 disminuyó ligeramente cuando aumentó el nivel de RSEP. En cambio, en los ensilados con CA la concentración de B2 se incrementó, al aumentar el nivel de RSEP a 70 y 80%.

La fracción **C** fue más abundante en los ensilados con CA ( $8.48\% \pm 0.27$ ) que en los ensilados con HA ( $7.26\% \pm 0.27$ ) ( $P = 0.003$ ).

## V. DISCUSIÓN

### Materia seca y pH

McCullough y Cañeque *et. al.* (72, 73) indican que el contenido de MS del material que se desea conservar por medio del ensilaje está directamente relacionado con las variaciones en el pH, por lo que en la presente investigación se discuten estas variables en conjunto.

McCullough (72) menciona que cuando los ensilados presentan un contenido de materia seca entre 30-35% se consigue una buena compactación; por consiguiente, cuando el contenido de carbohidratos solubles es adecuado, se establece una fermentación principalmente láctica, produciéndose el descenso del pH, el cual se sitúa entre 3.9 y 4.2, indicando que el ensilado es de buena calidad.

Bjorge (74), de manera general para varios forrajes, indica que, a medida que aumenta el porcentaje de MS de 20 a 40 %, el pH también se incrementa de 3.0 a 4.8; dentro de este intervalo se presenta, por tanto, la inhibición de bacterias indeseables y es posible alcanzar la estabilización del producto. Sin embargo, cuando el contenido de MS del material a ensilar se encuentra entre 20 y 25%, es necesario un pH más ácido (3.0-4.2) para alcanzar la estabilización, mientras que cuando el %MS está entre 35 y 40 %, la estabilización se puede lograr con pH entre 4.6 y 4.8.

Algunos autores (8, 15, 75, 76) señalan que cuando el contenido de MS de las excretas o de los RSEP es inferior (<20%), el exceso de humedad puede determinar un pH ácido (<3.5); sin embargo, no es posible alcanzar la estabilización, debido a que se lleva a cabo una fermentación de tipo acética, la

cual continúa indefinidamente. Por otra parte, el exceso de humedad también puede originar que el pH sea menos ácido ( $> 5$ ), debido a la presencia de una cantidad elevada de bacterias productoras de ácido butírico (*Clostridium* sp.). Por esta razón, como generalmente el contenido de humedad de las excretas (efluentes) de una granja porcina es elevado (73 - 76.5%), es necesaria, por una parte, la separación de sólidos, los cuales presentan un contenido de humedad variable entre 65 y 69 %, y, por otra parte, es recomendable mezclarlos con productos como henos, pajas y rastrojos, que contrarresten el elevado contenido de humedad para favorecer el proceso de ensilaje. También es importante adicionar una cantidad de carbohidratos solubles que fermenten y produzcan ácido láctico permitiendo la conservación de los nutrimentos. Estos ingredientes deben mezclarse en una proporción tal que las mezclas con RSEP presenten un contenido adecuado de MS, para que se establezca una fermentación láctica y una estabilización del material, presentando un pH de 4.2 (8,15,46).

El pH (4.18-4.37) y la concentración de MS (31.55-53.07%) obtenidos en los ensilados de la presente investigación fueron similares a los obtenidos en otros estudios. Por ejemplo, Toledo (8), en ensilados con RSEP, bagazo de caña y melaza, obtuvo valores de pH de 4.03 y MS de 43.51%, similares a los obtenidos con HA (4.23 y 46.59%, respectivamente). Por otra parte, Cabrera (75), con ensilados de caña de azúcar y RSEP en niveles de inclusión de 60 y 70%, encontró valores de pH entre 3.61-4.0 y MS de 30.5%, siendo estos valores de pH ligeramente más ácidos que los obtenidos en el presente experimento, y el contenido de MS fue similar al presentado por los ensilados

con CA (33.69%). Por otro lado, Iñiguez (15), en ensilados con excretas de cerdo, paja de trigo y melaza de caña, obtuvo un contenido de MS (30-40%) mayor al de los ensilados de la presente investigación, y valores de pH de 4.4 a 4.6, menos ácidos que los obtenidos en esta investigación. Este investigador señaló que el aumento en el nivel de excretas disminuyó el contenido de MS de esos ensilados por abajo de los niveles recomendados; esto produjo menor acidificación de los ensilados resultantes. Por su parte, Cadena (77), en ensilados con excretas de cerdo y planta de maíz encontró valores de MS cercanos a 30%, los cuales fueron menores a los obtenidos en la presente investigación, debido, posiblemente, al % de MS del forraje utilizado. Los valores de pH de esos ensilados estuvieron entre 3.28 y 3.69, lo cual corresponde con su contenido de humedad.

En esta investigación los ensilados con HA y 60% de inclusión de RSEP presentaron un contenido de MS elevado y por esa razón el pH fue menos ácido. Por el contrario, el contenido de MS en los ensilados con CA fue menor y esto repercutió sobre el pH, aún cuando éste fue igualmente ácido desde 60 hasta 80% de RSEP. De manera general, el contenido de MS, así como el pH obtenidos en esta investigación fueron característicos de ensilados de buena calidad.

### **Proteína cruda**

El contenido de PC (Cuadro 2) en melaza, CA y HA estuvo de acuerdo con la composición que la literatura indica en esos ingredientes (59). El contenido de PC en los RSEP (14.26%) fue similar a la cantidad que

presentaron los RSEP de otra granja en Tlacotepec, Mor. (8) y en el CEIEPP, Jilotepec, Edo. Méx. (78).

La diferencia en el contenido de PC entre los materiales antes y después de ensilar probablemente se debió a su utilización por parte de los microorganismos durante el proceso de ensilaje y a pérdidas en forma de amoníaco, que ocurrieron cuando se destapó y mezcló el contenido de cada microsilo. Cabe recordar que la finalidad de homogeneizar en su totalidad el material ensilado fue evitar una menor detección de PC debido a la sedimentación del nitrógeno soluble, como indicó Toledo (8). En otros estudios realizados con ensilados de maíz se comprobó que fue importante la cantidad de N que utilizaron los microorganismos durante el proceso. Por esa razón, se puede decir que la disminución de proteína en las mezclas después de ensilar se debió a la utilización de este elemento por parte de los microorganismos (74).

Iñiguez *et. al.* (15) realizaron ensilados con paja de trigo, excretas porcinas y melaza de caña y encontraron que el contenido de PC disminuyó cuando la inclusión de excretas fue menor, al igual que Toledo (8), debido a que utilizaron un forraje con menor cantidad de PC que las excretas.

### **Extracto etéreo**

Debido a que en la determinación de EE los disolventes orgánicos no solo extraen lípidos simples, sino también sustancias solubles en los mismos disolventes, como pigmentos, vitaminas liposolubles, y ceras, esta determinación no es muy precisa para determinar el contenido de grasa. Por lo



tanto, si el producto que se analiza es un forraje, la mayor parte de los compuestos extraídos son pigmentos (67). Al analizar el contenido de EE en las materias primas, se encontró que el EE en los RSEP fue similar al que obtuvo Toledo (8). La concentración de EE en CA fue mayor que en el HA y melaza (Cuadro 2). La cantidad de pigmentos es más elevada en un forraje fresco, como es la caña de azúcar, que en un heno, debido a que la acción del sol durante el proceso de secado provoca que disminuyan casi por completo dichos pigmentos (79).

Aunque en la presente investigación no hubo efecto significativo de los factores en estudio sobre la concentración de EE, cabe mencionar que, al parecer, durante el proceso de ensilaje hubo una transformación o pérdida de estos pigmentos, por lo que el contenido de EE fue menor en las mezclas después de ensilar que en las mezclas antes de ensilar. Los cambios en la coloración del forraje incluido en las mezclas corroboran lo anterior. Antes de ensilar, las mezclas tenían la coloración típica del forraje; ya ensiladas, las mezclas tenían una coloración café-rojiza. Cabe mencionar que estos cambios también se manifestaron en el estudio realizado con ensilados de planta de maíz y RSEP, no obstante cuando estos ensilados se ofrecieron a ovinos, los cambios no produjeron modificaciones en el consumo de los animales (80).

Por otro lado, Toledo (8) e Iñiguez *et al.* (15) obtuvieron aumento del contenido de EE a medida que se incrementó el porcentaje de RSEP en ensilados con otros subproductos. Esto no se manifestó en la presente investigación, lo que indica que las variaciones en los principios nutritivos

agrupados como EE en los ensilados de RSEP necesitan de mayor investigación.

### **Fibra cruda**

En lo que se refiere a la concentración de FC, fue significativo el tipo de forraje, obteniéndose menor cantidad de esta variable en los ensilados elaborados con HA que con CA. La determinación de FC subestima el contenido de carbohidratos estructurales que realmente se encuentra en la muestra, ya que se disuelve hasta el 80% de hemicelulosa, 20-50% de celulosa y 50-90% de la lignina (67). Los ensilados con HA presentaron una menor concentración de FC porque su mayor componente es de hemicelulosa (lo anterior fue confirmado por el análisis de carbohidratos solubles: glucosaxilosa), a diferencia de los ensilados con CA, debido a que el principal componente de la CA es la celulosa (67,79,81).

En general, la cantidad de FC fue similar a la que registraron otros ensilados elaborados con RSEP y bagazo de caña (8).

### **Cenizas**

En el contenido de CEN de los ensilados, el análisis de varianza reveló que su cantidad disminuyó conforme se incrementó el contenido de RSEP en la mezcla. Lo anterior no ofrece explicación alguna, debido a que las materias primas, a excepción de la melaza, presentaron concentración similar de CEN, por lo cual se esperaba un comportamiento similar en todos los ensilados, lo

cual no se presentó. En otros ensilados con bagazo de caña y RSEP el contenido de CEN aumentó al incrementar el porcentaje de RSEP (8).

### **Elementos libres de nitrógeno**

Los ELN corresponden a los carbohidratos solubles de un alimento. Por tal motivo, si se considera que en el proceso de ensilaje éstos se transforman a ácido láctico (73), se esperaría que en los ensilados la cantidad de ELN fuera menor. Esto no ocurrió así, probablemente porque cuando se realiza el análisis de FC, las digestiones con  $H_2SO_4$  al 1.25% y NaOH al 1.25% degradan entre 30 y 60% a los carbohidratos estructurales y éstos se contabilizan como ELN (58) elevándose, por esta razón, el contenido de ELN en los ensilados (aunque realmente es fibra que se ha solubilizado).

Por lo anterior, debido a que en el AQP, principalmente en la medición de carbohidratos solubles, se presentan estas indeterminaciones, se realizó el análisis de paredes celulares o análisis de Van Soest, y de carbohidratos solubles, ya sea obtenidos por diferencia o por la medición directa de la mezcla glucosa-xilosa, para tratar de explicar las diferencias.

### **Fraciones de la Fibra**

En lo referente a la **FDN** no hubo efecto significativo de los factores en estudio, obteniéndose un promedio de  $60.43 \pm 0.31$ . En otra investigación, realizada por Toledo (8), las mezclas con 50% de RSEP y bagazo de caña presentaron un contenido de 69.19% de FDN, ligeramente mayor al obtenido en este experimento. Aunque el autor menciona que el contenido de FDN

disminuyó al aumentar la cantidad de excretas, esto posiblemente se debió a que aquellos RSEP contenían mayor cantidad de FDN que los RSEP utilizados en este estudio.

En los resultados de FDA se encontró efecto significativo del nivel de RSEP, de manera que al incluir 60%, la concentración de FDA disminuyó ligeramente. Cabe mencionar que los RSEP antes de ser mezclados para su ensilaje mostraron valores similares de FAD a los de los forrajes. Posiblemente por esta razón, a una mayor inclusión de RSEP aumentó ligeramente la concentración de FDA, aunque se esperaba que el forraje tuviera efecto sobre esta variable por el tipo de carbohidratos estructurales de los cuales está formado. La explicación de que los RSEP influyeran directamente sobre esta variable probablemente se encuentra en la composición estructural de la dieta con la cual fueron alimentados los cerdos, así como en la separación de sólidos y líquidos, ya que en estos últimos se pierde la mayor parte de los componentes solubles, por lo que los estructurales aumentan (58,61,67,73).

Por otro lado, está comprobado que el proceso de ensilaje no produce aumento de los principios que componen la fibra y tampoco ocurre degradación de éstos por los microorganismos homo y heterolácticos. Por tal motivo, se concluye que la razón del aumento de los componentes fibrosos en estos ensilados se debió a la utilización de los carbohidratos solubles y cierta cantidad de proteína durante la fermentación del ensilaje (73), lo que ocasionó que, en proporción, se incrementara la cantidad de los componentes no solubles.

Respecto a la cantidad de fibra presente en los ensilados, Hilliard (81) señaló un contenido de FDA en excretas completas entre 15 y 30%, indicando que esta variación se debió a que se analizaron granjas con diferentes sistemas de alimentación. Por su parte, Rubio (82) encontró en excretas completas un valor promedio de 28%. Iñiguez (46) en ensilados de excretas con paja de trigo y melaza obtuvo valores entre 36 y 38%, a diferencia de los autores antes mencionados. El contenido de FDA en los ensilados de ese experimento fue similar a lo obtenido por Iñiguez (15, 46), debido a los subproductos utilizados.

La concentración de **LIG** y las variaciones que se presentaron en los ensilados no tienen una interpretación sencilla. Como se indicó en el capítulo de Resultados, la interacción tipo de forraje x nivel de RSEP fue significativa (Cuadro 7) y, al parecer, dentro de los factores principales, el nivel de RSEP sería más importante para la interacción. Sin embargo, la mayor diferencia en el contenido de **LIG** en las materias primas por separado se presenta entre HA y la CA. Esto, como se observa en la Figura 3, determina que con 80% de RSEP y CA como forraje el contenido de **LIG** sea menor. No obstante, de acuerdo con Van Soest (61) una diferencia de 1 a 2 % en el contenido de **LIG** cuando se analizan subproductos como los RSEP puede deberse a variaciones ocasionadas por la misma técnica. El HA presentó mayor cantidad de **LIG** que la CA, lo cual está directamente relacionado con el estado de madurez de los forrajes. Por esta razón, se esperaría que en los ensilados con HA la concentración de **LIG** fuera mayor; sin embargo, el comportamiento fue similar. En los ensilados con CA y 80% de RSEP la cantidad de **LIG** parece que tiende

a disminuir; sin embargo, las diferencias numéricas se encuentran dentro de la variación aceptada por Van Soest debido al análisis.

El nivel de RSEP fue significativo para **CEL**, obteniéndose menor cantidad al incluir 60% y mayor al incluir 70 u 80%. Probablemente esto se debió a la fermentación de la mezcla, en la cual existió mayor utilización de los carbohidratos solubles y, por lo tanto, aumentó la proporción de los carbohidratos estructurales después del proceso de ensilaje (73). La cantidad de celulosa en los ensilados de esta investigación fue similar al 29.46% que registró Toledo (8) en ensilados con RSEP, bagazo de caña y melaza.

Al respecto Dillewin (81) señala que en comparación con otros forrajes, la CA se caracteriza por contener mayor cantidad de celulosa. Por esta razón, en los ensilados con caña de azúcar al incluir menor cantidad de RSEP hubo mayor cantidad de celulosa; sin embargo, al aumentar el nivel de RSEP en las mezclas, el incremento en la cantidad de celulosa fue menos notorio. En forma diferente, al haber mayor celulosa en los RSEP que en el HA, en los ensilados con HA el aumento en el nivel de RSEP incrementó en mayor proporción el contenido de celulosa.

Como se señaló en la FDA, también el contenido de celulosa en los ensilados fue mayor que en las mezclas antes de ensilar, debido a que su proporción aumenta cuando otros compuestos, como los carbohidratos solubles, son utilizados por el proceso de fermentación.

Con relación a la **HCEL** no se presentó efecto significativo de los factores en estudio. Aunque las mezclas antes de ensilar (19.93%) presentaron, en promedio, concentraciones parecidas a las mezclas después

de ensilar (19.19%), en las mezclas con HA se observó una ligera disminución de 21.79% de HCEL antes de ensilar a 19.13% en los ensilados, probablemente porque este polímero estructural se solubiliza en soluciones ácidas (67,79). Por tal motivo, dado que en el proceso de ensilaje la actividad de los microorganismos hace que disminuya el pH entre 3.8 y 4.3, los carbohidratos que forman la hemicelulosa como son la ramnosa, ribosa, arabinosilanos, glucosa, galactosa, manosa (83), al ser hidrolizados por los ácidos, probablemente pasaron a formar parte de los carbohidratos solubles, que fueron fermentados también durante el proceso. Church (79) indica que los heno y pajas de cereales tienen un mayor contenido de hemicelulosa que los forrajes frescos. Por otra parte Dillewin (81), señala que la caña de azúcar tiene un mayor contenido de celulosa que de hemicelulosa.

### **Carbohidratos solubles**

En el ensilaje, los carbohidratos solubles (fructosa, glucosa, sacarosa y fructosanas) son rápidamente fermentados, a diferencia de los carbohidratos estructurales, que son poco utilizados. Solamente aquellos carbohidratos que forman parte de la hemicelulosa (unidos a xilosa) cuando son hidrolizados, se fermentan parcialmente. Por lo tanto, si la cantidad de hidrólisis es total, la xilosa puede estar presente en mayor cantidad en el ensilado, ya que no es fermentada (46,73,84). La concentración de carbohidratos solubles (glucosa-xilosa) presentó efecto significativo del tipo de forraje. Las mezclas elaboradas con HA, después del proceso de ensilaje, registraron un aumento en el contenido de estos carbohidratos, probablemente debido a la hidrólisis de los

carbohidratos que conforman a la hemicelulosa, ocasionada por el pH ácido del ensilado. Como esos carbohidratos son principalmente xilosa, que no se fermenta fácilmente, la técnica glucosa-xilosa detectó probablemente elevados niveles de xilosa y por eso en los HA los carbohidratos solubles aumentaron. De manera contraria, las mezclas elaboradas con CA mostraron una clara disminución en el contenido de carbohidratos solubles (glucosa-xilosa), pues los carbohidratos de la caña, al ser principalmente sacarosa (glucosa-fructosa), se fermentan fácilmente durante el proceso de ensilaje y no se detectan en el análisis glucosa-xilosa. En futuros estudios acerca de los cambios que ocurren en el contenido de carbohidratos solubles durante el ensilaje de RSEP se recomienda hacer las mediciones utilizando exclusivamente xilosa.

En otros estudios (73,77,85) realizados en ensilados con RSEP, se ha confirmado que durante el proceso de ensilaje los microorganismos transforman los carbohidratos solubles en ácido láctico o en otros ácidos grasos de cadena corta, como el acético. Por esta razón, el contenido de carbohidratos solubles en los ensilados siempre ha sido menor. El que no haya ocurrido así con los carbohidratos solubles totales registrados en esta investigación no significa que el proceso de ensilaje haya aumentado la cantidad de carbohidratos solubles, sino que el resultado se debió a la sobrestimación que resulta al utilizar la fórmula EC-1 (Material y Métodos). Debido a que el ensilaje disminuye el contenido de PC y EE, al obtener los carbohidratos solubles por diferencia, el valor es mayor en el ensilaje. Por lo anterior, para investigaciones posteriores se recomienda medir de manera



directa los carbohidratos solubles, utilizando la diferencia entre xilosa y los demás carbohidratos solubles para obtener valores más aproximados.

### **Fraciones de la proteína**

Analizando los cambios que ocurrieron en cada fracción por separado se encontró que la fracción **A** en los ensilados no presentó efecto significativo de los factores en estudio. Las mezclas elaboradas con HA tenían menor cantidad antes de ensilar (32.14%) que después de ensiladas (39.31%). De la misma manera, aquéllas elaboradas con CA antes de ensilar tenían menor concentración (34.81%) que después de ensilar (36.96%). Esto indica que las condiciones de la fermentación favorecieron la transformación de una parte de proteína verdadera a NNP por parte de los microorganismos. (87,49).

La fermentación, como se señaló anteriormente, se lleva a cabo principalmente por la transformación de carbohidratos solubles a ácidos como el láctico u otros ácidos grasos, principalmente acético. No obstante, durante el proceso los microorganismos requieren de una fuente de nitrógeno, pero, el tipo de carbohidratos solubles presente en las materias primas es importante, ya que determina la vía fermentativa a utilizar, lo cual produce cambios en la utilización del nitrógeno (20,73).

Al respecto, Estela *et. al.* (51) quienes estudiaron la composición de ensilados con CA y excreta vacuna, encontraron que durante el proceso de ensilaje aumentó la cantidad de NNP, a partir de proteína verdadera. En la presente investigación se encontró un efecto similar en los ensilados con CA y RSEP, por lo que sería recomendable estudiar si la cantidad de NNP que se

obtiene después de la fermentación se originó de la proteína verdadera y si esta cantidad correspondió al aumento que se observó en la fracción B2.

En lo que se refiere a la fracción **B2**, ésta presentó efecto significativo de la interacción tipo de forraje x nivel de RSEP, no observándose cambios en los ensilados con HA, pero hubo un claro incremento en los ensilados elaborados con CA al incluir 70% de RSEP. Esto probablemente se debió a que los RSEP presentaron mayor concentración de esta fracción; sin embargo, al incluirlos en mayor cantidad (80%) en la mezcla, la concentración de la fracción B2 ya no se modificó.

De acuerdo con Sniffen (16), la fracción B2 se encuentra en mayor concentración en los granos. Posiblemente por esta razón, tomando en cuenta que la alimentación de los cerdos de donde provienen las excretas está basada principalmente en este tipo de alimentos, se encontró mayor cantidad de la fracción B2 en comparación con las fracciones B1 y B3.

La concentración de la fracción **B1** no presentó efecto significativo de los factores en estudio, con un promedio de 6.10%. Esta fracción fue similar a la fracción C, mayor que la B3 y menor que las fracciones A y B2. Sin embargo, la literatura (16) señala que en ensilados de maíz y forrajes frescos, la cantidad de la fracción B1 es baja (5%), similar a la que presentaron los ensilados con RSEP, siendo además éste un porcentaje deseado, ya que la fracción B1 es rápidamente utilizada en el rumen (57).

De acuerdo con Sniffen (16), la fracción **B3** está integrada principalmente por prolaminas. Estas proteínas no se degradan en el rumen y su digestión se lleva a cabo principalmente en el intestino. Este tipo de

proteínas también es abundante en granos tales como trigo, avena, centeno, sorgo, entre otros. No obstante, en los RSEP (Cuadro 12) la concentración de la fracción B3 fue menor que las otras fracciones, indicando así que los cerdos digieren una buena cantidad de esta fracción a su paso por el intestino delgado. Por esta razón, y debido a que su concentración no es muy elevada en las demás materias primas, al integrar las mezclas, el contenido de la fracción B3 fue menor que al de las otras fracciones de B.

La cantidad de B3 registrada en los ensilados con RSEP no presentó efecto significativo de los factores en estudio, obteniéndose un promedio de 1.86%, lo cual se puede comparar con otro tipo de materias primas (16, 85) como el heno de alfalfa antes de la floración que puede contener de 3-5%, en tanto que un heno maduro puede presentar hasta 15.6%. Esto está muy relacionado con el contenido de paredes celulares, el cual aumenta a medida que los forrajes maduran. La fracción B3 está ligada al contenido de paredes celulares, por lo que se contabiliza como proteína de sobrepaso, que requiere ser diferenciada de la fracción C, la cual representa a la proteína completamente indisponible para el rumiante.

La fracción C, que corresponde a la proteína que está unida a la lignina contenida en las paredes celulares, en los ensilados con RSEP representó una cantidad pequeña, menor al 10% en todos los casos. En esta fracción se presentó un efecto significativo de tipo de forraje. Además, esta fracción fue 2-5% mayor en los ensilados que en las mezclas antes de ensilar, debido a que, como se mencionó anteriormente, en los ensilados hubo una proporción de carbohidratos solubles que se fermentó durante el proceso. Por tal motivo, al

no estar presentes en los ensilados y ocasionar el aumento, en proporción, de paredes celulares también aumentó la concentración de proteína ligada a la lignina (Cuadro 12). Esta fue la razón por la cual los ensilados elaborados con CA presentaron mayor concentración de esta fracción que los que contenían HA.

En otros estudios (16,60,86) realizados con granos, se encontró que el maíz tuvo 5% de la fracción C, el sorgo 4.8%, avena 5%, en tanto que los forrajes, como heno de alfalfa y de praderas, presentaron cantidades de 5.7 a 10%; los ensilados de maíz presentaron valores entre 7.9 y 8.5%. No se encontraron estudios que indicaran las cantidades de fracción C en HA o CA. Sin embargo, considerando la concentración de esta fracción en los henos de pradera en estado maduro (6.5%) o de ensilado de maíz (7.9-8.5%) (16,85), los valores de esta fracción en los ensilados de la presente investigación correspondieron con el aporte de las materias primas que los integraron.

El hecho de encontrar baja cantidad de fracción C, tanto en las mezclas antes de ensilar como en los ensilados, es favorable, debido a que esta fracción no va a ser disponible para los animales en ninguno de los compartimentos del tracto gastrointestinal. Por lo tanto, la proteína que aportan los ensilados con RSEP se puede considerar de buena calidad para incluirse en dietas para rumiantes.

## VI. CONCLUSIONES

La interacción tipo de forraje x RSEP modificó el pH y las concentraciones de MS, LIG y la fracción B2 de la proteína.

El tipo de forraje utilizado modificó el porcentaje de PC, FC y la fracción C de la proteína.

El nivel de RSEP modificó el porcentaje de CEN, FAD y CEL.

Los ensilados con heno de avena e inclusión de 60% o 70% de RSEP presentaron mejor valor nutritivo que los ensilados con 80% de RSEP.

Los ensilados con caña de azúcar e inclusión de 70% u 80% de RSEP presentaron mejor valor nutritivo que los ensilados con 60% de RSEP.

Ambos forrajes con 70% RSEP presentaron un valor nutritivo que puede ser una buena alternativa de alimentación para los rumiantes.

## VII. RECOMENDACIONES

Aunque el tipo de forraje y el nivel de RSEP influyen en el valor nutritivo de los ensilados, es importante señalar que ambos ensilados (con caña de azúcar para clima tropical o heno de avena para clima templado) son una alternativa de alimentación para los rumiantes, ya que con las tres proporciones de RSEP utilizadas, aumenta la cantidad de proteína y al concentrarse las fracciones más aprovechadas por los rumiantes, hay mayor disponibilidad de la proteína, lo que puede reflejarse en un mejor comportamiento productivo de los animales. Por otra parte, es una alternativa como fuente de energía, ya que se encontró que el pH ácido de los ensilados hidroliza cierta cantidad de carbohidratos estructurales. De esta manera, además del ácido láctico que se obtiene, los carbohidratos solubles restantes, son una fuente de energía fácilmente aprovechable por los microorganismos ruminales y, por ende, por los animales.

La evaluación de las fracciones de la fibra, de la proteína y de los carbohidratos solubles permite hacer más eficiente la producción animal y de esta manera facilitar la elección de los ingredientes más adecuados para las raciones de rumiantes.

En la elaboración de ensilados con estos subproductos es importante tomar en cuenta la cantidad de humedad, así como la cantidad de carbohidratos solubles, para obtener mejores resultados en la fermentación.

### VIII. LITERATURA CITADA

1. Trueba RS. Situación actual y proyecciones de la porcicultura. *Desarrollo Porcícola* 1998 Sep-Oct; 48:<http://www.cmp.org/revista/rev48/situacion48.htm>.
2. López GG. Importancia del reciclaje de excretas porcinas para la producción de alimento y biogás. *Acontecer Porcino* 1994; 2(10):5-12.
3. Vega VF, Romero SHL. Daños y soluciones ecológicas en las granjas porcinas. *Porcira* 1987, 11(131):62-68.
4. Salazar GG. Reciclaje de excretas, buen negocio. *Síntesis Porcina* 1995, Oct;19-24.
5. Henry V. Feeding strategies for pollution control in pig production. *Proc. 14<sup>th</sup> IPVS Congress* 1996; 45-50.
6. Pérez ER. Porcinocultura y medio ambiente. *Memorias del Segundo Seminario de Manejo de Residuos Porcinos*; 1997 Octubre 22-25; Querétaro (Querétaro), México. México (DF): Consejo Mexicano de Porcicultura, AC, 1997: 10-12.
7. SSA: Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-001ECOL-1996. Emisión máxima de residuos sólidos que deben presentar los afluentes de las granjas. *Diario Oficial de la Federación*. Agosto 1996.
8. Toledo BA. Caracterización nutricional de ensilados de excretas de cerdo (fracción sólida) con bagazo de caña y melaza (tesis de licenciatura), México (DF). *Fac Med Vet y Zoot. UNAM*, 1996.
9. Domínguez LE. La contaminación por excretas de cerdo. *Nuestro Acontecer Porcino* 1993; 1(1): 4-12.

10. Donald LD. Aprovechamiento de excretas animales como ingredientes para raciones alimenticias. *Porcira* 1988; 11:41-47.
11. Rubio LMM y Santiago SE. Efecto del tiempo de secado y la adición en el ensilaje de excretas de cerdo (tesis de licenciatura) Texcoco (México). Universidad Autónoma de Chapingo, 1995.
12. Castrejón PFA. Algunos estudios sobre el reciclaje de excretas en alimentación de bovinos. Memorias del Curso Internacional Avanzado de Nutrición de Rumiantes. Montecillos (México): Colegio de Postgraduados 1993; 79-86.
13. Iñiguez G. Aprovechamiento del estiércol de cerdo mediante fermentación. *Nuestro Acontecer Porcino* 1993; 1(1):14-20.
14. Arndt DL, Hatfield EE. Processing and handling of animal excreta for refeeding. *J Anim Sci* 1979; 48:161-162.
15. Iñiguez G, Cuarón JA y Pérez P. Fermentation characteristics of swine waste ensiled with wheat straw and cane molasses. *Biological Wastes* 1990; 34:227-239.
16. Sniffen CJ, O'Connor JD, Van Soest PJ, Fox DG, and Russell JB. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *J Anim Sci* 1992; 70: 3562-3577.
17. Padilla GE, Castellanos RA, Canton CJ y Moguel OY. Impacto del uso de niveles elevados de excretas animales en la alimentación de ovinos. *Livestock Research for Rural Development* 2000; 12 (1): <http://cipav.org.co/lrrd/lrrd12/cas121.htm>.



18. Pérez ER. La ganadería porcina y el medio ambiente. Desarrollo porcícola 1992; 7:4-6.
19. Gómez RS. Líder nacional del programa CENID. Fisiología y mejoramiento animal. 1999; [INIFAP-CONACYT]:<http://www.inifap.conacyt.mx>.
20. Martínez GR. Evaluación microbiológica en ensilados a base de excretas porcinas. (tesis de maestría). México( DF): Fac Med Vet Y Zoot. UNAM, 1999.
21. Franco G. Colección y manejo del agua residual. Memorias del 2º seminario sobre manejo y reciclaje de residuales porcinos; Octubre 22-25; Querétaro (Querétaro) México (DF): Consejo Mexicano de Porcicultura AC e Instituto de Investigaciones Económicas UNAM, 1997:32-40.
22. Schonwiese ChD. El clima en peligro. Revista Mexicana del Petróleo 1990; Mayo-junio:23-30.
23. Vanderholm DH. Handling of manure from different livestock and management systems. J Anim Sci 1979; 48(1):113-120.
24. Helmer JW. Monitoring the quality and safety of processed animal waste products sold commercially as feed. J Anim Sci 1980; 50(2):349-355.
25. SEMARNAP. Norma Oficial Mexicana. NOM-001-ECOL-1996. Límites máximos permisibles de contaminantes para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales. *Diario Oficial de la Federación*. Enero 1997.
26. SEMARNAP. Norma Oficial Mexicana. NOM-002-ECOL-1997. Límites máximos permisibles de contaminantes para las descargas de aguas residuales exceptuando las domésticas, a los sistemas de drenaje y

- alcantarillado urbano y municipal. *Diario Oficial de la Federación*. Junio 1998.
27. SEMARNAP. Norma Oficial Mexicana. NOM-003-ECOL-1997. Límites máximos permisibles de contaminantes para las descargas de aguas residuales tratadas que se reusen en servicios públicos. *Diario Oficial de la Federación*. Septiembre 1998.
28. Taiganides EP. Manual para el manejo y control de aguas residuales y excretas porcinas en México: Consejo Mexicano de Porcicultura; México 1997.
29. Tejada HI. Memorias del 2º seminario sobre manejo y reciclaje de residuos porcinos. Octubre 22-25. Querétaro (Querétaro) México (DF): Consejo Mexicano de Porcicultura A.C. e Instituto de Investigaciones Económicas UNAM; 1997:28-31.
30. Pérez ER. Porcicultura intensiva en México; Oct-Dic; 1999: <http://www.fao.org/docrep/x17t/x1700t03.htm>.
31. Taiganides EP. Manejo de desechos en ganadería, métodos prácticos en la perspectiva mundial y latinoamericana. Memorias del XIV Congreso Panamericano en Ciencias Veterinarias. Octubre 9-15; Acapulco (Guerrero) México: PANVET, 1994:597-598.
32. Escobedo CGL. La contaminación y la definición de tecnología. Memorias del XIV Congreso Panamericano en Ciencias Veterinarias; Octubre 9-15; Acapulco (Guerrero) México: PANVET, 1994:600-602.

33. Duarte UF, Magaña CA, Rodríguez GF. Utilización de heces en la alimentación animal y caracterización químico nutricional de heces de bovinos y porcinos. Tec Pec Mex 1990;28 (1):22-29.
34. Moser MA. Tratamiento de residuales porcinos. Memorias del 2° seminario sobre manejo y reciclaje de residuos porcinos; Octubre 22-25; Querétaro (Querétaro) México: Consejo Mexicano de Porcicultura A. C. e Instituto de Investigaciones Económicas UNAM, 1997.
35. Donal LD. Separación mecánica del estiércol. Porcrama 1988;11:62-65.
36. Van DNJ, Prince TJ and Hill DT. Digestibility and utilization of energy and protein in creened swine waste solids by gestating gilts. J Anim Sci 1986; 63:1150-1155.
37. Martínez EH. Contribución al estudio de la utilización de la cerdaza en la alimentación animal. División de Ciencias Agropecuarias y Marítimas. Departamento de Zootecnia. ITESM, 1979.
38. Campabadal C. Utilización de cerdaza en el ganado de carne. Acontecer bovino 1995; (1):4-10.
39. Gutiérrez VE. Alimentación animal con excretas porcinas: Valor nutricional, riesgos de salud y composteo. Cerdos-Swine 2000; 3 (31) : 30-32.
40. Flores VJ Investigación sobre desechos de granjas porcícolas. Acontecer Porcino 1998; (2):15-20.
41. Baez VJ. Utilización de porcinoza seca en raciones para cerdos en finalización (tesis de licenciatura) Texcoco (México) Universidad Autónoma de Chapingo, 1992.

42. Cobos PM. Tecnología en ensilados. Memorias del Primer Ciclo de conferencias Microbiológicas. Montecillos (Texcoco) México; 1989: Colegio de Postgraduados.
43. Stephen J W, Smith AM. El ensilaje. México: CECSA, 1963.
44. Day DL. Aprovechamiento de excretas animales, como ingredientes para raciones alimenticias. Porciviva 1988; 7 (6):41-55.
45. Duarte V, Castro MG, Gutierrez VE, y Tena MJ. Engorda de toretes con ensilaje de estiércol de cerdo con melaza y paja de sorgo y suplementos proteínicos. Livestock Research for Rural Development 2000;12(3): <http://www.cipav.org.co/lrrd12/3/duar123b.htm>.
46. Iñiguez CG. Fermentación de estiércol de cerdo para la obtención de un alimento para rumiantes (tesis doctorado) México (DF): Instituto de Investigaciones Biomédicas UNAM, 1991.
47. Jordan H, García TR, Muñoz E y González R. El uso de la caña de azúcar y sus subproductos en la alimentación de la vaca lechera. Instituto de Ciencia Animal. San José de las Lajas. La Habana Cuba, 1991.
48. Silverio NH. La utilización de la caña de azúcar y subproductos de la agroindustria en la alimentación animal. GPLACEA/PNUD 1991.
49. Molina AS, Febles E y Sierra JF. Ensilaje de caña de azúcar con síntesis proteica. Formulación de los Aditivos. Rev Cub Cienc Agr 1997; 31: 271.
50. Estela C, Bocourt R, Elías A y Febles I. Grosor de la capa y volteo en la fermentación de la caña de azúcar con excreta vacuna. Rev Cub Cienc Agr 1997; 36:49.

51. Estela C, Elias A, Martín PC, Valiño E, Febles I. Tiempo de fermentación de la caña de azúcar con excreta vacuna. Rev Cub Cienc Agr 1997; 31:45.
52. Morrison FB. Compendio de alimentación del Ganado. Limusa 1994.
53. Flores MJA. Manual de alimentación animal. Tomo 4. Limusa 1989.
54. Flores MJA. Bromatología animal. Limusa 1977.
55. Flores MJA Manual de alimentación animal. Tomo 2. Limusa 1991.
56. Narayan D, Sharma K, Hasan QZ, Pathak NN. Nutritive value of oat (*Avena Sativa*) hay leftovers. J Indian Vet. 1998; 75:389-391.
57. Krishnamoorthy U, Muscato TV, Sniffen CJ y Van Soest PJ. Nitrogen fractions in selected feedstuffs. J Dairy Sci 1982;. 65:217-225.
58. Van Soest PJ. Nutritional Ecology of the Ruminant. USA, Oregon: Cornell University 1983.; 230-248.
59. National Research Council. Nutrient Requirements of Domestic Animals. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. Seventh Revised Edition USA 2001.
60. Elizalde JC, Merchen NR y Faulkner DB. Fractionation of fiber and crude protein in fresh forages during the spring growth. J Anim Sci 1999; 77:476-484.
61. Van Soest PJ y Wine RH. Use of detergents in the analysis of fibres feeds IV. The determination of plant cell wall constituents. J Assoc Anal Chem 1967; 50:50-53.
62. Van Soest PJ. Development of a comprehensive system of feed analyses and its application to forages. USA, 1979.

63. Martin C, Pihilippeau C, and Michalet-Doreau B. Effect of wheat and corn variety on fiber digestion in beef steers feed high-grain diets. *J Anim Sci* 1999; 77:2269-2278.
64. Van Soest PJ, Robertson, and Lewis BA. Symposium: carbohydrate methodology, metabolism, and nutritional implications in dairy cattle. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J Dairy Sci* 1991; 74: 3583-3597.
65. DePeters EJ, Fadel JG, Arosemena A. Digestion kinetics of neutral detergent fiber and chemical composition within some selected by-product feedstuffs. *Anim Feed Sci Technol* 1997;. 67:127-140.
66. Sniffen CJ, O'Connor, Van Soest PJ, Fox DG and Russell JB. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: III. Cattle requirements and diet adequacy. *J Anim Sci* 1992; 70:3578-3596.
67. Tejada HI. Manual de laboratorio para análisis de ingredientes usados en alimentación animal. Patronato de Apoyo a la Investigación y Experimentación Pecuaria en México A. C. México, D.F. 1983.
68. Methods of the Association of Analytical Chemists. 12<sup>th</sup> ed. USA: Association of Official Analytical Chemists 1975.
69. Waldern DE. A rapid micro-digestion procedure for neutral and acid detergent fiber. *Can. J Anim Sci.* 1971; 51:67-69.
70. Johnson RR, Balawani TL, Johnson LJ, McClure KE, and Dehority BA. Corn plant maturity II. Effect on in vitro cellulose digestibility and soluble carbohydrate content. *J. Anim Sci* 1966; 25:617.

71. Kwanchai AG. Statistical procedures for agricultural research. John Wiley , Inc Singapur 1984:297-302.
72. McCullough ME. Silage some general considerations. Fermentation of silage a review. Published: Grants-In-Aid Committee, National Feed Ingredients Association. Iowa USA 1978:1-26.
73. Cañeque MV, Sancha SJL. Ensilado de forrajes. Mundi-Prensa.1998. Madrid, España.
74. Bjorges M. Evaluating silage quality.  
<http://www.agric.gov.ab.ca/cropis/forage/silage/silag2.html/>.
75. Cabrera MP. Macro y microminerales en ensilados de excretas porcinas (fracción sólida) con caña de azúcar picada (tesis de licenciatura) México (DF): Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia UNAM, 1998.
76. Hernández CBC. Determinación de bacterias patógenas en ensilados de excretas porcinas con caña de azúcar (tesis licenciatura) México (DF): Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia UNAM, 1987.
77. Cadena VM. Determinación de minerales y ácidos grasos volátiles en ensilados de excretas de cerdo con planta de maíz en diferentes etapas de maduración (tesis de licenciatura) México (DF): Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia UNAM, 2001.
78. Alvarado RAR. Comportamiento productivo de cerdos en finalización al adicionar ensilado de excretas porcinas en su dieta (tesis licenciatura) México (DF): Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia UNAM,1999.
79. Church DC, Pond WG. Fundamentos en nutrición animal y alimentación de los Animales. Limusa. México 1987.

80. Martínez CVA. 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 (DF): Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia UNAM 1999.
81. Hilliard EP and Berat GR. Utilization of pigger waste. The chemical composition and in vitro organic matter digestibility of pig faeces from comercial piggeries in sowt eastern. Austr. Agric. Environm. 1979; 4:171.
82. Rubio RV, Gutiérrez JL, Ogás L y Arzola C. Evaluación nutricional de la fracción fibrosa y del nitrógeno de las excretas de diversas especies. (tesis de licenciatura) Texcoco (México): Universidad Autónoma de Chapingo 1984; 3:6-11.
83. Dillewin CV. Botánica de la caña de azúcar. México. Edición Revolucionaria, 1951.
84. Church DC. The Ruminant Animal: Digestive Physiology and Nutrition. Prentice, Hall Inc. 1988.
85. Andrade PD, Contreras RMA. Determinación de la composición química de alfalfa y maíz ensilado en el Valle de México. (tesis de licenciatura) Texcoco (México): Universidad Autónoma de Chapingo 1997.
86. Mc Donald P and Henderson AR. Buffering capacity of herbage samples as a factor in silage J Sci Fd Agric 1962; 13:395.
87. Shannak S, Südekum, Susenbeth A. Estimating ruminal crude protein degradation with *in situ* and chemical fractionation procedures. Anim Feed Sci and Technol. 2000; 85:195-214.



88. Muscato TV, Sniffen CJ, Krishnamoorthy U and Soest V. Amino acid content of noncell and cell wall fractions in feedstuffs. *J Dairy Sci.* 1983; 66: 2198-2207.

## IX. ANEXO

### 1. TÉCNICA UTILIZADA PARA LA DETERMINACIÓN DE CARBOHIDRATOS SOLUBLES

#### *Material*

- Muestra liofilizada y molida
- Balanza analítica
- Agua bidestilada
- Matraces volumétricos (50 ml, 100 ml, 200 ml, 500 ml)
- Papel filtro whatman no. 1
- Embudo de plástico
- Matraz Erlenmeyer 300 ml
- Pipetas volumétricas (1 ml, 2 ml, 5 ml, 25 ml)
- Tubos de ensayo
- Vidrio de reloj
- Espátula
- Glucosa RA
- Xilosa RA
- Fenol RA al 5%
- Ácido sulfúrico, grado reactivo
- Agitador
- Espectrofotómetro PERKIN ELMER lambda 25 UV/VIS
- Celdas de cuarzo
- Reloj
- Calculadora

### **Método**

Se pesa 0.25 g de muestra liofilizada y molida, se deposita en un matraz volumétrico de 100ml se afora con agua bidestilada, posteriormente se homogeniza y se filtra, utilizando papel filtro whatman no.1. Se recupera la solución en un matraz Erlenmeyer de 300ml; se toma una alícuota de 2 ml y se deposita en un tubo de ensaye, se adiciona 1 ml de fenol al 5% y 5 ml de ácido sulfúrico grado reactivo. Se agita cada 10 min por 20min dejando reposar 10 minutos. Posteriormente, se determina la densidad óptica de la solución, utilizando las celdas de cuarzo en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 490nm.

*Preparación de la curva estándar usando 0 a 100  $\mu\text{g}$  de una mezcla de glucosa-xilosa:*

Pesar 1 g de glucosa, 1 g de xilosa y depositar en un matraz volumétrico de 100 ml. Aforar con agua bidestilada hasta disolver, para obtener una solución con concentración de 20 000  $\mu\text{g}/\text{ml}$ . Tomar 1 ml de esta solución y depositarla en un matraz volumétrico de 200 ml, para obtener una solución con concentración de 100  $\mu\text{g}/\text{ml}$ , y depositar 1 ml de la misma solución en un matraz volumétrico de 500 ml para obtener una solución con concentración de 40  $\mu\text{g}/\text{ml}$ , para realizar las siguientes diluciones.

Matraz 200 ml - ( 100 $\mu\text{g/ml}$ )	Matraz 500 ml - ( 40 $\mu\text{g/ml}$ )
25 ml en 50 ml - ( 50 $\mu\text{g/ml}$ )	25 ml en 50 ml - ( 20 $\mu\text{g/ml}$ )
↓	↓
25 ml en 50 ml - ( 25 $\mu\text{g/ml}$ )	25 ml en 50 ml - ( 10 $\mu\text{g/ml}$ )
↓	↓
25 ml en 50 ml - (12.5 $\mu\text{g/ml}$ )	25 ml en 50 ml - ( 5 $\mu\text{g/ml}$ )
↓	↓
	25 ml en 50 ml - (2.5 $\mu\text{g/ml}$ )

Se toman 2 ml de cada solución para obtener la siguiente curva:

0 - 5 - 10 - 20 - 25 - 40 - 50 - 80 - 100  $\mu\text{g}$

Nota: En un tubo de ensayo se colocan 2 ml de cada solución y se lleva a cabo el mismo proceso que con la muestra a analizar.

\*Johnson RR, Balawani TL, Johnson LJ, McClure KE, y Dehority BA. Corn Plant maturity. II. Effect on in vitro cellulose digestibility and soluble carbohydrate content. J. Anim. Sci. 1966 25:617.

**2. TECNICAS UTILIZADAS PARA DETERMINAR LAS  
FRACCIONES DE LA PROTEÍNA  
(A, B1, B2, B3, y C)  
PROTEÍNA CRUDA**

***Material***

- Muestra liofilizada y molida con una criba de 1mm
- Balanza analítica
- Aparato de macro-Kjeldahl
- Matraz Kjeldahl
- Mezcla de selenio
- Perlas de ebullición
- Ácido sulfúrico grado reactivo
- Guantes de asbesto
- Tapones
- Agua
- Fenolftaleína
- Hidróxido de sodio concentrado al 50%
- Matraz Erlenmeyer 500 ml
- Ácido bórico al 4%
- Verde de bromocresol
- Solución valorada de ácido clorhídrico al .1000 normal
- Bureta
- Calculadora

### Método

Se pesa 1 g de muestra liofilizada y molida, para ser depositada en un matraz de Kjeldahl. Se agrega 1 g de mezcla de selenio, 20 ml de ácido sulfúrico concentrado y perlas de ebullición. Se coloca el matraz en el aparato de Kjeldahl para que se lleve a cabo la digestión durante 40 min. (hasta que la solución tome un color verde esmeralda) y se retira de las parrillas para enfriar la solución. Al mismo tiempo, en un matraz Erlenmeyer se colocan 50 ml de ácido bórico y unas gotas de verde de bromocresol. En el matraz Kjeldahl ya frío, se agregan 400 ml de agua corriente, unas gotas de fenolftaleína, 50ml de hidróxido de sodio al 50% y se coloca el matraz nuevamente en el aparato de Kjeldahl para que se lleve a cabo la destilación. Al mismo tiempo se coloca el matraz Erlenmeyer para recibir la solución hasta que llegue a 200 ml. Posteriormente a la solución, contenida en el matraz Erlenmeyer se le agrega HCl con normalidad conocida, hasta que se presente un viraje de color de azul a verde. En este momento se tomará la cantidad utilizada para titular y se realizarán los cálculos necesarios.

### *Fórmula*

$$\text{Proteína cruda (PC)} = \frac{(\text{ml HCl}) (\text{norm. HCl}) (0.014) (6.25)}{\text{g muestra}} \times 100$$

g muestra

Donde:

ml HCl = La cantidad de HCL utilizado para el viraje

norm. HCl = Normalidad conocida del HCl utilizado

g muestra = Gramos de muestra analizada

## NITRÓGENO INSOLUBLE (B2, B3, C), Y SOLUBLE(A, B1)

### Material

- Muestra liofilizada y molida
- BUFFER. Borato fosfato (pH 6.80):
  - $\text{NaH}_2\text{PO}_4\text{H}_2\text{O}$  (12.2g/l)
  - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  (8.91g/l)
- Agua destilada
- Papel filtro Whatman no.54
- Tubos de ensaye
- Alcohol t-butílico o terbutanol 10%
- Agitador
- Matraz Erlenmeyer 300ml
- Aparato macro-Kjeldahl

### Método

Se colocan 0.5 g de muestra liofilizada y molida en un tubo de ensaye; se agregan 5 ml de alcohol t-butílico al 10%, 5 ml de borato fosfato y se agita la solución cada 10 min por una hora. Esta solución se filtra, enjuagando con 50ml de borato fosfato y 250 ml de agua destilada, recuperando la solución restante, la cual servirá para la determinación de B1. La rodaja se lleva al aparato de macro-Kjeldahl para determinar nitrógeno, el valor obtenido corresponderá al N insoluble.

$$\mathbf{N \text{ soluble} = PC - N \text{ insoluble}}$$

## **N SOLUBLE VERDADERO**

### **(Fracción B1)**

#### **Material**

- Vaso de precipitado de 200 ml
- 70 ml de la solución obtenida de la técnica de N insoluble y soluble
- Pipeta de 1 ml
- HCl 50%
- Platina
- 2 probetas de 25 ml
- Sulfato de cobre al 6%
- Hidróxido de sodio al 1.25%
- Vidrio de reloj
- Papel filtro Whatman no. 1
- Agua destilada
- Aparato macro-kjeldahl

#### **Método**

En un vaso de precipitado se colocan 70 ml de solución obtenida con la técnica de nitrógeno insoluble; se agrega 1ml de HCl al 50% y se coloca en la platina, permaneciendo en ebullición por 10 min. Se agregan 25 ml de sulfato de Cu al 6%, manteniéndolo en ebullición por 10 min. Se agrega hidróxido de sodio al 1.25% y manteniendo en ebullición hasta observar precipitación. Se retira el vaso de la platina y se cubre con un vidrio de reloj, dejando reposar de 16-24 horas, para posteriormente filtrar. La rodaja de papel filtro obtenida será llevada al aparato macro-Kjeldahl para obtener N soluble verdadero.



**NNP(Fracción A) = N soluble - N soluble verdadero (Fracción B1)**

**N INSOLUBLE EN DETERGENTE NEUTRO**

**(Fracciones B3y C)**

**Material**

- Balanza analítica
- Muestra liofilizada y molida
- Tubo de ensayo
- Solución detergente neutro
- Jeringa de 20 cm
- Canicas
- Platina
- Recipiente de acero inoxidable
- 4 litros de aceite de automóvil
- Termómetro
- Reloj
- Papel filtro Whatman no. 54
- Agua destilada caliente
- Acetona
- Aparato macro-Kjeldahl
- Calculadora

**Método**

Se depositan 0.25 g de muestra liofilizada en un tubo de ensayo para agregar 25 ml de solución detergente neutro, introduciendo el tubo en una

gradilla dentro del recipiente de acero inoxidable, el cual debe contener 4 litros de aceite. El recipiente se coloca en la platina caliente hasta alcanzar una temperatura de 100°C, manteniendo la solución en ebullición por 60 min. Posteriormente se filtra, enjuagando con agua destilada y fijando con acetona. La rodaja de papel filtro será llevada al aparato de macro-Kjeldahl para obtener el N insoluble en detergente neutro.

### **N INSOLUBLE EN DETERGENTE ÁCIDO**

#### **(Fracción C)**

##### **Material**

- Balanza analítica
- Muestra liofilizada y molida
- Tubo de ensayo
- Solución detergente ácido
- Jeringa de 20 cm
- Canicas
- Platina
- Recipiente de acero inoxidable
- 4 litros de aceite de automóvil
- Termómetro
- Reloj
- Papel filtro Whatman no. 54
- Agua destilada
- Acetona
- Aparato macro-Kjeldahl

✓ Calculadora

**Método**

Se depositan 0.25 g de muestra liofilizada y molida en un tubo de ensaye, para agregar 25 ml de solución detergente ácido, introduciendo el tubo en una gradilla dentro del recipiente de acero inoxidable, el cual debe contener 4l de aceite. El recipiente se coloca en la platina caliente, hasta alcanzar una temperatura de 100°C, manteniendo la solución en ebullición por 60 min. Posteriormente se filtra, enjuagando con agua destilada y fijando con acetona. La rodaja obtenida se somete a una digestión e hidrólisis en el aparato de macro-Kjeldahl, para obtener el N insoluble en detergente ácido.

**CÁLCULOS**

**A** = N soluble - N soluble verdadero

**B1** = N soluble verdadero

**B2** = N insoluble - N insoluble en detergente neutro

**B3** = N insoluble en detergente neutro - N insoluble en detergente ácido

**C** = N insoluble en detergente ácido

**A + B1 + B2 + B3 + C = 100% = N total**

} **B**

\*Krishnamoorthy U , Muscato TV, Sniffen CJ, Van Soest PJ. Nitrogen Fractions in Selected Feedstuffs, Journal Dairy Science 1982, (65) : 217-225.

\*OAC. Methods of the Association of Analytical Chemist. 12<sup>th</sup> ed. USA: Association of Official Analytical Chemist 1975.

**Cuadro 1. Descripción de los tratamientos**

<b>TX</b>	<b>%RSEP</b>	<b>%HA</b>	<b>%CA</b>	<b>%M</b>
<b>T1</b>	60	32		8
<b>T2</b>	70	22		8
<b>T3</b>	80	12		8
<b>T4</b>	60		32	8
<b>T5</b>	70		22	8
<b>T6</b>	80		12	8

Tx = Tratamiento  
RSEP = Residuos sólidos de excretas porcinas  
HA = Heno de avena  
CA = Caña de azúcar  
M = Melaza

**Cuadro 2. Análisis químico proximal (base seca) de los ingredientes (RSEP, forraje y melaza) y las mezclas antes y después de ensilar.**

<b>TX</b>	<b>INGREDIENTE</b>			<b>MS%</b>	<b>PC%</b>	<b>EE%</b>	<b>FC%</b>	<b>CEN%</b>	<b>ELN%</b>
	<b>RSEP</b>			31.88 (0.06)	14.26 (0.42)	6.09 (0.19)	24.88 (0.44)	9.66 (0.27)	44.13 (0.57)
	<b>HA</b>			95.31 (0.10)	9.52 (0.02)	3.04 (0.32)	26.14 (0.14)	9.66 (0.27)	51.63 (0.29)
	<b>CA</b>			20.81 (0.03)	4.50 (0.05)	7.13 (0.15)	29.06 (0.22)	9.90 (0.22)	49.41 (0.24)
	<b>M</b>			78.46 (0.05)*	4.19 (0.04)	1.33 (0.19)	0.06 (0.00)	15.57 (0.00)	78.86 (0.22)
<b>Antes de ensilar</b>									
<b>% Inclusión</b>									
	<b>RSEP</b>	<b>HA</b>	<b>M</b>						
<b>T1</b>	60	32	8	53.47 (0.08)	13.08 (0.13)	6.52 (0.93)	20.24 (0.77)	13.61 (0.14)	46.55 (1.96)
<b>T2</b>	70	22	8	47.08 (0.22)	12.58 (0.11)	6.80 (0.07)	21.58 (0.29)	11.40 (0.73)	47.65 (0.26)
<b>T3</b>	80	12	8	42.86 (0.81)	13.32 (0.08)	7.36 (0.55)	22.84 (0.36)	11.79 (0.67)	44.71 (0.33)
	<b>RSEP</b>	<b>CA</b>	<b>M</b>						
<b>T4</b>	60	32	8	28.84 (0.98)	12.23 (0.92)	5.74 (0.47)	21.88 (0.26)	12.12 (0.47)	48.03 (2.13)
<b>T5</b>	70	22	8	29.52 (0.18)	13.51 (0.53)	6.11 (0.09)	23.33 (0.26)	12.74 (0.25)	44.32 (0.45)
<b>T6</b>	80	12	8	30.31 (0.33)	15.57 (0.36)	6.62 (0.41)	22.75 (0.47)	12.10 (0.55)	42.97 (1.07)
<b>Después de ensilar</b>									
	<b>RSEP</b>	<b>HA</b>	<b>M</b>						
<b>T1</b>	60	32	8	53.07 (1.12)	11.60 (1.07)	6.96 (0.95)	24.41 (5.66)	10.35 (1.79)	47.47 (4.57)
<b>T2</b>	70	22	8	45.38 (1.04)	10.80 (0.44)	6.93 (1.07)	27.50 (2.87)	9.35 (1.01)	45.42 (2.37)
<b>T3</b>	80	12	8	41.31 (0.83)	11.50 (0.37)	7.40 (1.90)	25.38 (2.99)	9.30 (0.92)	46.41 (1.46)
	<b>RSEP</b>	<b>CA</b>	<b>M</b>						
<b>T4</b>	60	32	8	31.92 (0.53)	9.46 (0.57)	5.70 (1.03)	30.51 (2.04)	10.47 (1.42)	43.85 (1.31)
<b>T5</b>	70	22	8	31.55 (0.77)	10.36 (0.84)	6.68 (1.01)	30.33 (3.02)	10.47 (0.47)	42.16 (1.28)
<b>T6</b>	80	12	8	33.36 (0.45)	11.16 (0.55)	5.43 (1.02)	30.82 (2.94)	9.16 (0.69)	43.42 (3.57)

TX = Tratamiento

RSEP = Residuos sólidos de excretas porcinas

HA = Heno de avena

CA = Caña de azúcar

M = Melaza

\*Media (desviación estándar)

MS = Materia seca

PC = Proteína cruda

CEN = Cenizas

EE = Extracto etéreo

FC = Fibra cruda

ELN = Elementos libres de nitrógeno

76

**Cuadro 3. Análisis de varianza del análisis químico proximal, de ensilados con RSEP,  
Forraje y una cantidad fija de melaza.**

F.V.	GL	MS			PC			EE			FC			CEN		
		CM	F	P	CM	F	P	CM	F	P	CM	F	P	CM	F	P
F	1	0.2222	2877.56	0.0001	9.24	19.04	0.0001	0.0031	5.60	NS	197.11	16.28	0.0003	0.06	0.07	NS
RSEP	2	0.0068	88.42	0.0001	2.26	4.66	NS	0.0010	1.88	NS	8.01	0.66	NS	7.63	8.09	0.001
F X RSEP	2	0.0123	158.98	0.0001	2.86	5.92	NS	0.0009	1.76	NS	11.12	0.92	NS	2.71	2.87	NS
ERROR	30	0.0001			0.48			0.0006			12.10			0.94		
TOTAL	35															

F = Forraje  
 RSEP = Residuos sólidos de excretas porcinas  
 MS = Materia seca  
 PC = Proteína cruda  
 EE = Extracto etéreo  
 FC = Fibra cruda  
 CEN = Cenizas  
 NS = No significativo (P>0.0028)

**Cuadro 4. pH de los ingredientes (RSEP, forraje y melaza) y las mezclas, antes y después de ensilar.**

<b>TX</b>	<b>INGREDIENTE</b>			<i>Antes de ensilar</i>	<i>Después de ensilar</i>
	<b>RSEP</b>			8.67 (0.07)*	
	<b>HA</b>			6.00 (0.13)	
	<b>CA</b>			3.77 (0.24)	
	<b>M</b>				
	<b>% Inclusión</b>				
	<b>RSE</b>	<b>HA</b>	<b>M</b>		
	<b>P</b>				
<b>T1</b>	<b>60</b>	<b>32</b>	<b>8</b>	5.70 (0.17)	4.35 (0.02)
<b>T2</b>	<b>70</b>	<b>22</b>	<b>8</b>	5.42 (0.13)	4.18 (0.01)
<b>T3</b>	<b>80</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	5.73 (0.17)	4.23 (0.04)
	<b>RSE</b>	<b>CA</b>	<b>M</b>		
	<b>P</b>				
<b>T4</b>	<b>60</b>	<b>32</b>	<b>8</b>	6.01 (0.07)	4.24 (0.03)
<b>T5</b>	<b>70</b>	<b>22</b>	<b>8</b>	6.02 (0.13)	4.37 (0.15)
<b>T6</b>	<b>80</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	5.57 (0.16)	4.25 (0.07)

TX = Tratamiento  
RSEP = Residuos sólidos de excretas porcinas  
HA = Heno de avena  
CA = Caña de azúcar  
M = Melaza  
\*Media (desviación estándar)

78

**Cuadro 5. Análisis de varianza para pH, de ensilados con RSEP, forraje y una cantidad fija de melaza.**

	F.V.	G.L.	CM	F	P
F		1	0.011	2.23	NS
RSEP		2	0.009	1.97	NS
F X RSEP		2	0.065	13.13	0.0001
ERROR		30	0.005		
TOTAL		35			

F= Forraje

RSEP = Residuos sólidos de excretas porcinas

NS = No significativo (P>0.0028)



Cuadro 6. Fracciones de la fibra de los ingredientes (RSEP, forraje y melaza ) y las mezclas, antes y después de ensilar.

TX	INGREDIENTE	FDN%	FDA%	LIG%	CEL%	HCEL%		
	RSEP	60.85 (0.11)*	40.18 (0.25)	9.04 (0.23)	30.98 (0.31)	20.67 (0.36)		
	HA	31.59 (0.08)	40.20 (0.23)	10.56 (0.23)	29.62 (0.03)	21.39 (0.14)		
	CA	66.20 (0.24)	45.10 (0.14)	5.90 (0.42)	38.98 (0.31)	21.10 (0.10)		
	M							
<i>Antes de ensilar</i>								
% Inclusión								
	RSEP	HA	M					
T1	60	32	8	58.33 (0.31)	33.78 (0.14)	7.34 (0.31)	24.20 (0.28)	24.55 (0.17)
T2	70	22	8	55.47 (0.39)	35.82 (0.20)	8.52 (0.17)	27.10 (0.14)	19.65 (0.19)
T3	80	12	8	60.38 (0.32)	39.20 (0.51)	9.06 (0.03)	29.98 (0.31)	21.18 (0.83)
	RSEP	CA	M					
T4	60	32	8	61.31 (0.08)	41.26 (0.14)	10.24 (0.17)	30.98 (0.03)	20.05 (0.06)
T5	70	22	8	60.90 (0.42)	40.86 (0.20)	10.76 (0.51)	29.78 (0.31)	20.04 (0.22)
T6	80	12	8	61.17 (0.18)	47.04 (0.06)	10.12 (0.17)	36.70 (0.14)	14.13 (0.12)
<i>Después de ensilar</i>								
	RSEP	HA	M					
T1	60	32	8	58.87 (2.90)	37.03 (2.79)	10.29 (0.50)	26.60 (2.76)	21.84 (5.04)
T2	70	22	8	61.19 (1.44)	42.22 (1.66)	10.67 (0.39)	31.36 (1.86)	18.97 (2.17)
T3	80	12	8	60.23 (2.31)	43.63 (3.25)	10.26 (0.48)	33.28 (2.95)	16.59 (5.11)
	RSEP	CA	M					
T4	60	32	8	61.30 (1.18)	40.15 (2.25)	10.41 (0.48)	29.43 (2.27)	21.16 (2.77)
T5	70	22	8	60.26 (0.19)	43.18 (1.63)	11.48 (0.55)	30.81 (1.63)	17.08 (1.54)
T6	80	12	8	60.75 (1.87)	41.23 (1.64)	9.27 (0.76)	31.43 (1.32)	19.52 (0.84)

TX = Tratamiento

RSEP = Residuos sólidos de excretas porcinas

HA = Heno de avena

CA = Caña de azúcar

M = Melaza

\*Media (desviación estándar)

FDN = Fibra detergente neutro

FDA = Fibra detergente ácido

LIG = Lignina

CEL = Celulosa

HCEL = Hemicelulosa

**Cuadro 7. Análisis de varianza de las fracciones de la fibra de ensilados  
Con RSEP, forraje y una cantidad fija de melaza.**

F.V.	G.L.	FDN			FDA			LIG			CEL			HCEL		
		CM	F	P	CM	F	P	CM	F	P	CM	F	P	CM	F	P
F	1	4.09	1.86	NS	2.80	0.53	NS	0.002	0.09	NS	0.17	0.04	NS	0.12	0.01	NS
RSEP	2	1.25	0.36	NS	63.46	12.09	0.0001	5.141	17.59	0.0001	59.81	12.85	0.0001	47.82	4.29	NS
F X RSEP	2	8.52	2.47	NS	23.27	4.43	NS	2.492	8.53	0.0012	17.47	3.58	NS	18.83	1.69	NS
ERROR	30	3.46			5.25			0.292			4.88			11.14		
TOTAL	35															

\*Media (desviación estándar)

F = Forraje

RSEP = Residuos sólidos de excretas porcinas

FDN = Fibra detergente neutro

FDA = Fibra detergente ácido

LIG = Lignina

CEL = Celulosa

HCEL = Hemicelulosa

NS = no significativo ( $P > 0.0028$ )

**Cuadro 8 . Carbohidratos solubles (glucosa - xilosa mg/g) de los ingredientes (RSEP, forraje y melaza) y las mezclas antes y después de ensilar.**

<b>TX</b>	<b>INGREDIENTE</b>			<b>Antes de ensilar</b>	<b>Después de ensilar</b>
	RSEP			11.17 (0.24)*	
	HA			44.03 (1.13)	
	CA			41.45 (0.11)	
	M			20.21 (0.57)	
	<b>% Inclusión</b>				
	<b>RSEP</b>	<b>HA</b>			
<b>T1</b>	<b>60</b>	<b>32</b>	<b>8</b>	20.38 (0.14)	30.75 (3.96)
<b>T2</b>	<b>70</b>	<b>22</b>	<b>8</b>	21.55 (0.70)	24.16 (2.20)
<b>T3</b>	<b>80</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	22.83 (0.19)	26.32 (2.55)
	<b>RSEP</b>	<b>CA</b>	<b>M</b>		
<b>T4</b>	<b>60</b>	<b>32</b>	<b>8</b>	34.15 (0.66)	18.59 (1.83)
<b>T5</b>	<b>70</b>	<b>22</b>	<b>8</b>	36.98 (0.50)	18.63 (2.32)
<b>T6</b>	<b>80</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	30.76 (0.14)	19.68 (2.41)

\*Media (desviación estándar)

TX = Tratamiento

RSEP = Residuos sólidos de excretas porcinas

HA = Heno de avena

CA = Caña de azúcar

M = Melaza

82

**Cuadro 9. Concentración (%) de carbohidratos solubles totales\* de los ingredientes (RSEP, forraje y melaza) y las mezclas antes y después de ensilar**

TX	INGREDIENTE			Antes de ensilar	Después de ensilar
	RSEP			8.16 (1.22)**	
	HA			16.18 (0.53)	
	CA			12.27 (0.26)	
	M			78.86 (0.22)	
	% Inclusión				
	RSEP	HA	M		
T1	60	32	8	8.46 (1.50)	13.02 (4.23)
T2	70	22	8	13.76 (0.94)	11.74 (1.99)
T3	80	12	8	7.14 (0.35)	11.56 (1.34)
	RSEP	CA	M		
T4	60	32	8	8.60 (1.95)	13.06 (1.72)
T5	70	22	8	6.75 (0.23)	12.22 (2.46)
T6	80	12	8	4.55 (0.78)	13.50 (2.53)

\*\*Media (desviación estándar)

TX = Tratamiento

RSEP = Residuos sólidos de excretas porcinas

HA = Heno de avena

CA = Caña de azúcar

M = Melaza

\*Carbohidratos solubles totales =  $100 - (\% \text{FDN} + \% \text{PC} + \% \text{CEN} + \% \text{EE})$

FDN = Fibra detergente neutro

PC = Proteína cruda

CEN = Cenizas

EE = Extracto etéreo

**Cuadro 10. Análisis de varianza de carbohidratos solubles (glucosa-xilosa mg/g) de ensilados con RSEP, forraje y una cantidad fija de melaza.**

F.V.	G.L.	CM	F	P
F	1	554.9408	79.41	0.0001
RSEP	2	32.18918	4.61	NS
F X RSEP	2	37.16425	5.32	NS
ERROR	28	6.98800		
TOTAL	33			

**Cuadro 11. Análisis de varianza de carbohidratos solubles\* de ensilados con RSEP, forraje y una cantidad fija de melaza.**

F.V.	G.L.	CM	F	P
F	1	6.109136	0.9377	NS
RSEP	2	6.755538	0.5185	NS
F X RSEP	2	5.827105	0.4472	NS
ERROR	30	2.552434		
TOTAL	35			

\*Carbohidratos solubles = 100 - (% FDN + % PC + % Cen + % EE)

F = Forraje

RSEP = Residuos sólidos de excretas porcinas

FDN = Fibra detergente neutro

PC = Proteína cruda

CEN = Cenizas

EE = Extracto etéreo

NS = No significativo (P>0.0028)

**Cuadro 12. Fracciones de la proteína de los ingredientes (RSEP, forraje y melaza) y las mezclas antes y después de ensilar.**

<b>TX</b>	<b>INGREDIENTE</b>	<b>A%</b>	<b>B1%</b>	<b>B2%</b>	<b>B3%</b>	<b>C%</b>
	<b>RSEP</b>	20.13 (0.30)*	4.03 (0.06)	67.48 (0.63)	2.40 (0.22)	5.95 (0.61)
	<b>HA</b>	44.75 (0.07)	5.84 (0.23)	45.60 (0.42)	0.87 (0.04)	2.95 (0.07)
	<b>CA</b>	51.08 (0.04)	8.04 (0.11)	23.14 (0.27)	14.70 (0.24)	3.00 (0.04)
	<b>M</b>					
<i>Antes de ensilar</i>						
% Inclusión						
	<b>RSEP</b>	<b>HA</b>	<b>M</b>			
<b>T1</b>	<b>60</b>	<b>32</b>	<b>8</b>	31.00 (0.02)	11.81 (0.32)	48.03 (0.04)
<b>T2</b>	<b>70</b>	<b>22</b>	<b>8</b>	32.05 (0.15)	2.88 (0.01)	58.76 (0.61)
<b>T3</b>	<b>80</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	33.37 (0.57)	9.81 (1.04)	50.46 (0.08)
	<b>RSEP</b>	<b>CA</b>	<b>M</b>			
<b>T4</b>	<b>60</b>	<b>32</b>	<b>8</b>	38.23 (0.41)	5.72 (0.24)	49.38 (0.61)
<b>T5</b>	<b>70</b>	<b>22</b>	<b>8</b>	33.22 (0.82)	5.35 (0.24)	53.64 (0.33)
<b>T6</b>	<b>80</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	32.94 (0.10)	6.97 (0.24)	51.98 (0.49)
<i>Después de ensilar</i>						
	<b>RSEP</b>	<b>HA</b>	<b>M</b>			
<b>T1</b>	<b>60</b>	<b>32</b>	<b>8</b>	39.19 (4.87)	5.01 (1.95)	48.56 (5.05)
<b>T2</b>	<b>70</b>	<b>22</b>	<b>8</b>	39.42 (4.78)	5.05 (2.16)	44.85 (3.15)
<b>T3</b>	<b>80</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	39.33 (5.96)	5.55 (2.63)	45.85 (3.74)
	<b>RSEP</b>	<b>CA</b>	<b>M</b>			
<b>T4</b>	<b>60</b>	<b>32</b>	<b>8</b>	46.66 (4.63)	7.15 (2.57)	34.80 (5.19)
<b>T5</b>	<b>70</b>	<b>22</b>	<b>8</b>	32.39 (3.79)	7.66 (2.58)	50.75 (4.25)
<b>T6</b>	<b>80</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	31.84 (4.54)	6.18 (0.75)	51.41 (4.44)

TX = Tratamiento  
 RSEP = Residuos sólidos de excretas porcinas  
 HA = Heno de avena  
 CA = Caña de azúcar  
 M = Melaza

\*Media (desviación estándar)

A = Nitrógeno no proteico (degradada en rumen)  
 B1 = Proteína verdadera soluble (degradada en rumen)  
 B2 = Proteína verdadera insoluble (degradada parcialmente en rumen e intestino)  
 B3 = Proteína verdadera insoluble en detergente neutro (degradada en intestino)  
 C = Proteína insoluble en detergente ácido (ligada a lignina)

**Cuadro 13. Análisis de varianza de las fracciones de la proteína de ensilados con RSEP, forraje y una cantidad fija de melaza.**

F.V.	G.L.	A			B1			B2			B3			C		
		CM	F	P	CM	F	P	CM	F	P	CM	F	P	CM	F	P
F	1	49.72	1.36	NS	28.75	5.89	NS	5.29	0.18	NS	0.05	0.04	NS	13.42	10.40	0.003
RSEP	2	206.67	5.66	NS	0.71	0.15	NS	172.94	5.92	NS	0.48	0.41	NS	2.86	2.22	NS
F X RSEP	2	216.80	5.94	NS	3.21	0.66	NS	379.93	13.01	0.0001	3.23	2.75	NS	7.24	5.61	NS
ERROR	30	36.51			4.88			29.19			1.17			1.29		
TOTAL	35															

F = Forraje

RSEP= Residuos sólidos de excretas porcinas

A = Nitrógeno no proteico (degradada en rumen)

B1 = Proteína verdadera soluble (degradada en rumen)

B2 = Proteína verdadera insoluble (degradada parcialmente en rumen e intestino)

B3 = Proteína verdadera insoluble en detergente neutro (degradada en intestino)

C = Proteína insoluble en detergente ácido (ligada a lignina)

NS = No significativo (P>0.0028)

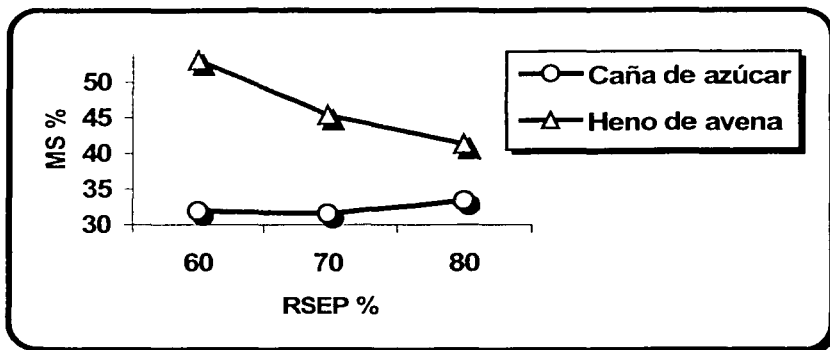


Figura 1. Efecto de la interacción forraje x residuos sólidos de excretas porcinas (RSEP), sobre el contenido de materia seca (MS) de ensilados elaborados con RSEP, forraje (CA o HA) y melaza.

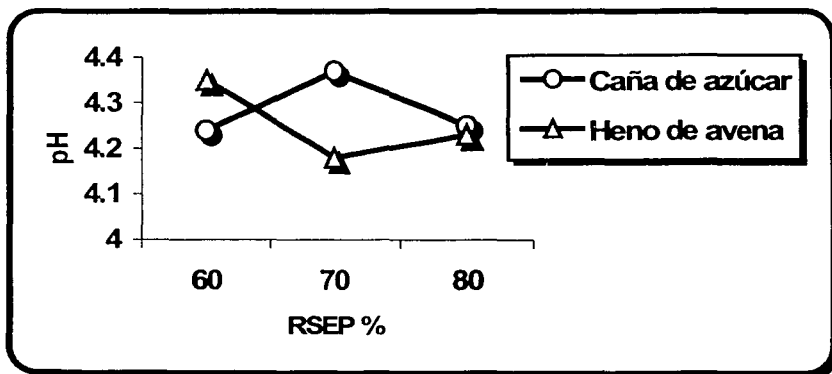


Figura 2. Efecto de la interacción forraje x residuos sólidos de excretas porcinas (RSEP) sobre el pH de ensilados elaborados con RSEP, forraje (CA o HA) y melaza.



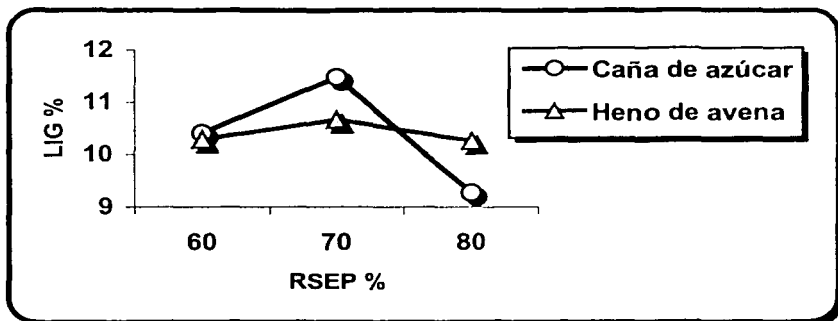


Figura 3. Efecto de la interacción forraje x residuos sólidos de excretas porcinas (RSEP), sobre el contenido de lignina (LIG) en ensilados elaborados con RSEP, forraje (CA o HA) y melaza.

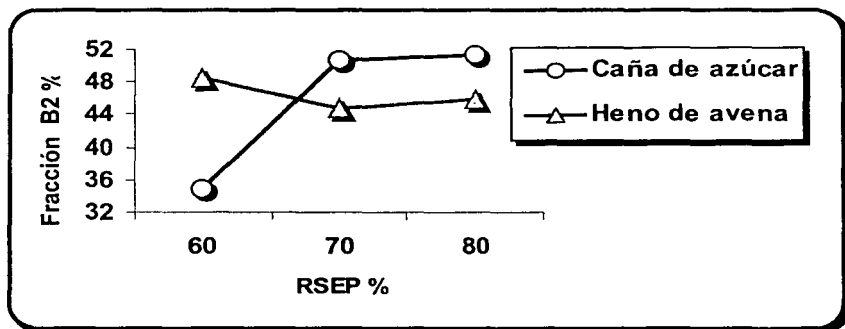


Figura 4. Efecto de la interacción forraje x residuos sólidos de excretas porcinas (RSEP) sobre el contenido de la fracción B2 (proteína insoluble verdadera) en ensilados elaborados con RSEP, forraje (CA o HA) y melaza.