

INDICE DE CUADROS

CUADRO		Pág.
No.1	Hidratos de carbono importantes en nutrición	5
No.2	Enzimas proteolíticas, lugares de producción y especificidad de acción.	13
No.3	Clasificación de los aminoácidos con respecto a su efecto sobre el crecimiento	14
No.4	Signos clínicos provocados por la deficiencia de nutrimentos	19
No.5	Clasificación de los minerales basada en su función biológica.	20
No.6	Metaloenzimas más importantes	23
No.7	Compuestos que limitan la disponibilidad biológica de los minerales.	24
No.8	Signos clínicos por deficiencia de minerales.	25
No.9	Clasificación de las vitaminas.	28
No.10	Funciones nutricionales de las vitaminas	29
No.11	Signos clínicos por deficiencia de vitaminas.	30
No.12	Hormonas secretadas al duodeno	33
No.13	Enzimas del jugo pancreático	33
No.14	Enzimas del jugo intestinal	34
No.15	Cantidades de proteínas necesarias	45
No.16	Aportes recomendados de energía, proteína, aminoácidos y minerales para cerdos en crecimiento.	48
No.17	Aportes recomendados de energía, proteína, aminoácidos y minerales para las cerdas reproductivas.	49
No.18	Resultados del análisis químico proximal.	77
No.19	Resultados del contenido de energía bruta, TND (Total de nutrimentos digestibles) y de energía digestible.	78
No.20	Resultados del porcentaje de digestibilidad multienzimática <i>in vitro</i> .	79



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

No.21	Resultados del contenido de fibra dietética.	81
No.22	Resultados del aminograma realizado a la muestra B' (secada a T=80°C/peletizada).	83
No.23	Perfil recomendado por diferentes fuentes.	83

RESUMEN

A medida que se incrementan las necesidades de consumo de proteína animal por la población se hace más agudo el problema de la competencia entre el hombre y los animales por los mismos alimentos. La vigencia de encontrar soluciones que permitan producir carne, en particular la de cerdo, sin la utilización de cereales y fuentes convencionales de alimento es un reclamo inmediato de la mayor parte del mundo, en especial de los países en vía de desarrollo. Los residuos orgánicos son un subproducto muy heterogéneo que resultan de los desperdicios de la alimentación humana. La utilización de este desecho tratado (secado y peletizado) no sólo contribuye a ampliar las posibilidades de alimentación para los cerdos disminuyendo el problema de manejo y conservación en fresco, sino que ayuda a eliminar un problema de contaminación ambiental en los centros urbanos. Por lo que el objetivo del presente trabajo fue: Caracterizar químicamente los residuos orgánicos y evaluar el efecto de los tratamientos térmicos a 60, 80 y 100°C, así como el peletizado sobre el contenido de proteína y la digestibilidad de la misma *in vitro*. Se recolectaron los residuos del comedor del INNSZ durante 10 semanas, separando todo el material inorgánico. Las muestras fueron sometidas a los diferentes tratamientos referidos se separaron 2 lotes, uno en forma de harina y el otro empastillado (peletizado) y se les practicaron los siguientes análisis: Químico Proximal (MS, C, PC, EE Y ELN), Energía bruta, Digestibilidad *in vitro* de la proteína, Fibra dietética, y Aminograma. Los resultados se analizaron estadísticamente por medio de un análisis de varianza con un diseño factorial completamente aleatorizado 3X2 con 10 repeticiones de cada tratamiento. La diferencia entre medias se hizo mediante la prueba de Tukey con una probabilidad de $P < 0.05$. Algunos de los principales resultados obtenidos se presentan a continuación:

	TESTIGO	60°C SIN PELETIZAR	80°C SIN PELETIZAR	100°C SIN PELETIZAR	60°C PELETIZADA	80°C PELETIZADA	100°C PELETIZADA
% PROTEÍNA	25.89 ±1.81	25.32 ±2.05	24.71 ±1.47	25.19 ±1.90	24.82 ±1.06	25.30 ±2.0	24.77 ±1.72
ENERGÍA (Mcal/kg.)	4.51 ^b ±0.09	4.87 ^a ±0.22	4.78 ^a ±0.15	4.83 ^a ±0.15	4.81 ^a ±0.22	4.83 ^a ±0.14	4.88 ^a ±0.22
% DIGESTIBILIDAD	76.89 ^b ±1.60	82.40 ^a ±2.85	83.13 ^a ±1.94	81.64 ^a ±3.90	82.91 ^a ±4.39	82.66 ^a ±3.03	84.97 ^a ±5.62

Letras superscriptas diferentes indican diferencia significativa ($P < 0.05$)

Resultados en base seca.

1.- INTRODUCCIÓN

El objetivo fundamental de la producción animal consiste en proporcionar alimentos de alta calidad para el consumo de la especie humana. La necesidad de encontrar soluciones alimentarias para la producción animal que a su vez no compitan con los alimentos para el hombre ha conducido a la búsqueda de fuentes potenciales para la alimentación animal, entre las que se encuentran los subproductos agroindustriales, leguminosas no convencionales y residuos orgánicos, entre otros. Desde el punto de vista económico del 60 al 80% de los costos totales de la producción animal se deben al concepto de alimentación, por tanto lograr una reducción en el mismo, es la meta de todos los productores y nutriólogos. (36), (60).

Los cerdos por ser animales monogástricos son más exigentes nutricionalmente hablando que los rumiantes, por lo que una perspectiva de alimentación interesante es el contemplar los residuos orgánicos del consumo humano, los cuales se encuentran formados de todo tipo de carnes (pescado, pollo, res, cerdo); productos lácteos, frutas, verduras, pan, tortillas de harina de trigo y de maíz, leguminosas (lentejas, frijoles, habas, garbanzos, entre otros), aceites vegetales, grasa animal, así como de cualquier otro residuo alimenticio.

Es importante considerar que un alimento para que sea completo debe cubrir las necesidades nutricionales, tanto proteínicas como energéticas, así como proporcionar la cantidad suficiente de vitaminas y minerales para el buen desarrollo productivo de cualquier animal. Durante los procesos metabólicos los lípidos e hidratos de carbono, son transformados y almacenados en forma de glucógeno o grasa en el organismo. Las proteínas en el cerdo sufren una digestión de tipo enzimática y los aminoácidos son empleados en las síntesis proteicas del animal, así mismo, el excedente genera energía mediante su transformación contribuyendo así a la producción de grasa.

La mayor parte de los alimentos que se emplean para la alimentación animal generalmente requieren ser transportados de un lugar a otro a través de largas distancias y necesitan ser almacenados por períodos considerables. Algunos de ellos pueden conservarse durante años en forma segura, sin embargo otros requieren de un procesamiento complejo. Los componentes de los alimentos que más sufren cambios durante los procesos de conservación y que podrían alterar su valor nutritivo son: (1) proteínas, (2) grasas y/o (3) vitaminas. Dichos cambios

pueden implicar la destrucción o modificaciones químicas que afecten su disponibilidad o propiedades biológicas, por ejemplo, cambiando el valor biológico de las proteínas; las grasas pueden sufrir alteraciones mediante la autoxidación de los ácidos grasos insaturados; las vitaminas pueden destruirse o volverse ineficientes en lo que respecta a su acción biológica. La utilización de los residuos orgánicos en la alimentación animal requiere de procesos físicos para asegurar el consumo adecuado para la obtención de las ganancias del peso esperado y la salud de los animales. Durante la molienda, almacenamiento o cocción estos sufren cambios, alterando las propiedades nutritivas del alimento.

Se ha visto en trabajos anteriores donde se han utilizado los residuos orgánicos procesados para la alimentación de cerdos, que este tipo de alimentos han cubierto las necesidades nutricionales de los mismos. ^{(35), (37)}.

A través de la utilización de los residuos orgánicos procesados se pretende solucionar problemas de tipo económico, nutricional, ecológico, productivo, y sanitario. Esto puede lograrse mediante la eliminación de la flora patógena contaminante por mal manejo de los residuos que en un momento dado pueda ocasionar problemas de salud en los animales; mejorando las condiciones de almacenamiento y transporte de los mismos al ser manejados como harinas o pelets, y alargando de esta forma el período de vida; ofreciendo nuevas alternativas para la alimentación de cerdos. ⁽³⁷⁾.

2.4.- LAS PROTEÍNAS.

La palabra proteína procede del griego *proteios*, que significa primero o primario. Lo cual, resulta muy adecuado, ya que las proteínas son el componente fundamental de los tejidos animales, siendo necesario un aporte continuo a lo largo de la vida. Todas las células contienen proteína, produciéndose una rápida tasa de renovación celular. Por lo tanto, es esencial proporcionarla en la ración para cubrir las necesidades de toda clase de animales. La mayor parte de la proteína en el alimento para animales es de origen vegetal; por lo que el objetivo en la producción animal consiste precisamente en transformar las proteínas de origen vegetal en proteínas animales.

Las proteínas son compuestos orgánicos complejos, cuyo peso molecular oscila entre 5000 y un millón de unidades Kd o D, están compuesta por los aminoácidos, que contienen un grupo carboxilo, un grupo amino en posición α , y un grupo R que varíe en los distintos aminoácidos. Todos los aminoácidos, excepto la glicina, tiene un átomo de carbono asimétrico. Solamente los aminoácidos que pertenecen a la serie L- se encuentran normalmente en las proteínas y, con pocas excepciones, son los únicos que pueden emplearse por animales con fines metabólicos. Los aminoácidos sintéticos suelen hallarse en mezclas racémicas de isómeros L- y D-, hecho que debe tenerse presente al emplear aminoácidos sintéticos como aditivos de la alimentación animal.

Los aminoácidos se unen por enlaces peptídicos en los cuales, el nitrógeno del grupo amino de una molécula se une al carbono del grupo carboxilo de un segundo aminoácido, con eliminación de agua. Las proteínas se componen de una o más cadenas de aminoácidos. Estas cadenas se denominan polipéptidos, debido a los enlaces peptídicos.

El tipo de aminoácidos presentes en una molécula proteica, sus cantidades relativas y la disposición secuencial, son únicas para cada proteína específica. La composición, tamaño molecular y disposición espacial de las distintas proteínas tienen una gran influencia sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de las mismas, y las hacen adecuadas para sus funciones particulares. Las proteínas son componentes estructurales en órganos, enzimas, agentes de transporte, hormonas, tampones, etc. Los aminoácidos se liberan de las proteínas de la ración por las enzimas digestivas que actúan en el tracto gastrointestinal (Cuadro No.2). Los aminoácidos liberados se absorben en la mucosa, pasan a la corriente sanguínea y son retirados por los tejidos,

donde se forman las proteínas. Por consiguiente, los animales no precisan de las proteínas de la dieta *per se*, sino de los aminoácidos que son el producto de degradación de las proteínas. Siendo el valor nutritivo de las proteínas considerado, dependiendo del tipo de aminoácidos digeridos y disponibles para los animales.⁽⁴⁾

CUADRO No.2 ENZIMAS PROTEOLITICAS, LUGARES DE PRODUCCION Y ESPECIFICIDAD DE ACCION.⁽¹⁴⁾

ENZIMA	LUGAR DE PRODUCCION	ROMPE ENLACES PEPTIDICOS ADYACENTES A:	pH IDÓNEO
PEPSINA	Mucosa del estómago	Triptófano, fenilalanina, tirosina, metionina, leucina	1.8-2.0
TRIPSINA	Páncreas	Arginina, lisina	8.0-9.0
QUIMOTRIPSINA	Páncreas	Aminoácidos aromáticos y metionina	8.0-9.0
ELASTASA	Páncreas	Aminoácidos alifáticos	8.0-9.0
CARBOXIPEPTIDASA A	Páncreas	Aminoácidos aromáticos	7.2
CARBOXIPEPTIDASA B	Páncreas	Arginina, lisina	8.0
AMINOPEPTIDASA	Mucosa del intestino	Aminoácidos con grupos NH ₂ libres	7.4

Al final de la cadena peptídica

La secreción de enzimas proteolíticas por el páncreas parece estar regulada por la presencia de proteína en el intestino. En el cerdo, se ha comprobado, que la actividad de la quimotripsina varia de acuerdo con el contenido de proteína en la ración; se incrementa la actividad en un 250% cuando aumenta del 10-30%, los efectos nutritivos de las proteínas dependen del tipo de aminoácidos liberados durante los procesos de digestión, por lo tanto, pueden clasificarse en aminoácidos indispensables o aminoácidos dispensables, los cuales se muestran en el cuadro No.3. Los primeros no pueden sintetizarse en el organismo al ritmo necesario para cubrir las necesidades fisiológicas y, deben aportarse en la ración. Por su parte los segundos son necesarios para la síntesis de proteínas en el organismo, pero no son necesarios como componentes de la dieta, ya que pueden sintetizarse por transferencia de grupos amino a ciertos compuestos intermediarios del metabolismo hidrocarbonado o por conversión de algunos aminoácidos indispensables en otros dispensables como la metionina en cisteína o la fenilalanina en tirosina.⁽⁴⁾

Por lo tanto, el valor nutritivo de los suplementos proteínicos depende, fundamentalmente de su composición en aminoácidos. Puesto que la mayoría de los alimentos empleados para los monogástricos son altamente digestibles, las cantidades de aminoácidos determinadas en los análisis suelen ser totalmente utilizables. Es recomendable que la composición en aminoácidos indispensables de la ración se aproxime a las necesidades de los animales y que la relación entre aminoácidos indispensables y dispensables sea aproximadamente 1:1.⁽⁴⁾

CUADRO No.3 CLASIFICACION DE LOS AMINOACIDOS CON RESPECTO A SU EFECTO SOBRE EL CRECIMIENTO.⁽⁴⁾

INDISPENSABLES	DISPENSABLES
LISINA	ACIDO GLUTAMICO
TRIPTOFANO	GLICINA O SERINA
HISTIDINA	PROLINA
FENILALANINA	ARGININA
LEUCINA	ALANINA
ISOLEUCINA	TIROSINA
TREONINA	ACIDO ASPARTICO
METIONINA	CISTEINA
VALINA	HIDROXIPROLINA

Se han estudiado las mezclas de proteínas existentes en varios productos, y las proteínas respectivas pueden clasificarse como sigue: (1) proteínas sencillas, que por hidrólisis producen únicamente aminoácidos y (2) proteínas conjugadas, que son las proteínas sencillas combinadas con compuestos no proteínicos. A la parte no proteínica se denomina grupo prostético.

2.4.1.- PROTEÍNAS SENCILLAS

2.4.1.1.- *Proteínas globulares:*

Son relativamente solubles y compactas, debido a la gran cantidad de pliegues de la larga cadena de polipéptidos. A este grupo pertenecen proteínas biológicamente activas como las enzimas, hormonas proteicas y las proteínas transportadoras de oxígeno. Las albúminas son hidrosolubles y forman parte significativa de las proteínas de las semillas, seroproteínas y proteínas del huevo. Las globulinas son poco solubles en agua, pero la solubilidad aumenta al añadir sales neutras como el cloruro sódico, ejemplos de esto son, las globulinas del suero y del músculo y las globulinas de las semillas de leguminosas.

Los componentes principales de las proteínas foliares y de los tallos son las proteínas protoplásmicas solubles, que pueden subdividirse en citoplásmicas y cloroplásticas. Las proteínas de la pared celular son mucho menos solubles y representan un componente minoritario. Las proteínas protoplásmicas constituyen la maquinaria enzimática del metabolismo vegetal y son de mayor calidad nutritiva que las proteínas de reserva de las semillas.

2.4.1.2.- Proteínas fibrosas:

Se componen de cadenas peptídicas alargadas, unidas por diversos tipos de enlaces cruzados para formar una estructura estable y poco soluble. Estas proteínas son responsables de las propiedades mecánicas de la mayoría de los tejidos y órganos animales donde se encuentran en forma de colágeno, elastina y queratina.

El *colágeno* es el componente principal del tejido conectivo, el cual aumenta con la edad del animal, determinando el endurecimiento de la carne de los animales. La *elastina* es una proteína elástica fibrosa que se encuentra en los tendones. El colágeno y la elastina contienen elevadas cantidades de los aminoácidos glicina y prolina y su valor biológico es bajo. Por su parte, el colágeno se caracteriza, además, por la presencia de hidroxiprolina que sólo se encuentra en esta proteína. El colágeno es resistente a las enzimas digestivas, pero se convierte fácilmente en gelatina por ebullición en agua o ácidos diluidos. En los subproductos de matadero empleados en la alimentación animal se encuentran cantidades abundantes de colágeno y elastina.

Las *queratinas* se encuentran en los tejidos epiteliales, pelo, lana, plumas, cuernos y pezuñas. Presentan un elevado contenido en cisteína, y los abundantes enlaces disulfuro que unen a las cadenas peptídicas las hacen poco digestibles, así mismo, determinan su resistencia mecánica.

2.4.2.- PROTEÍNAS CONJUGADAS

Las *glucoproteínas* son complejos de proteína e hidratos de carbono. El sulfato de condroitin se encuentra en el cartilago, tendones y piel, y contiene sulfatos de polisacáridos. Las mucoproteínas contienen hexosas, pentosas, aminoazúcares y otros derivados de azúcares y se encuentran en las secreciones mucosas como la saliva, y en los componentes de la clara del huevo (ovoalbúmina y ovomucina).

Las *lipoproteínas* son compuestos que contienen lípidos. Se encuentran en la yema del huevo, tejido nervioso (mielina) y membranas (eritrocitos). Constituyen el medio de transporte principal de los lípidos en la sangre.

Las *cromoproteínas* son proteínas combinadas con compuestos coloreados, como la hemoglobina, mioglobina de los músculos y la clorofila.

2.4.3.- COMPUESTOS NITROGENADOS NO PROTEINICOS.⁽⁴⁾

Los tejidos animales y vegetales contienen algunos compuestos nitrogenados que no son proteínas, es decir, no son aminoácidos unidos por enlaces peptídicos. Estos compuestos constituyen el denominado nitrógeno no proteico como urea, ácido úrico, creatinina, y ácido hipúrico, aminoácidos libres, amidas y alcaloides. Los ácidos nucleicos también se encuentran dentro de estos compuestos. Los alimentos fibrosos como forrajes verdes, henos y ensilados contienen cantidades relativamente altas de compuestos nitrogenados no proteínicos, a diferencia de las semillas maduras y alimentos concentrados de origen vegetal; representando en los primeros del 10-15% del nitrógeno total y 50% en ensilados. Los aminoácidos libres y las amidas son los componentes principales de la fracción nitrogenada no proteínica existente en los forrajes verdes. El contenido en aminoácidos libres es alto en las plantas jóvenes en crecimiento rápido y desciende con la madurez.

2.5.- EL AGUA. ⁽⁹⁾

El animal puede tener acceso al agua de las siguientes formas: como agua de bebida; la contenida en los alimentos; y el agua metabólica. Los forrajes verdes y los ensilados contienen 70-90% de humedad, lo que representa un aporte sustancial para cubrir las necesidades de los animales, mientras que los alimentos secos como los concentrados y el heno, contienen entre el 7% y el 15%. El contenido en humedad superior al 15% en los alimentos secos no es admisible, ya que se supone una disminución del valor nutritivo y la predisposición de los mismos para contaminarse con hongos o bien pudrirse.

El agua metabólica como su nombre lo indica se produce en los procesos metabólicos de los tejidos, fundamentalmente por oxidación de los nutrientes así se tiene que la oxidación de un gramo de hidratos de carbono produce 0.6 g de agua, un gramo de grasa 1.1 g, y un gramo de proteína 0.4 g respectivamente, siendo esta una fuente importante para muchos animales.

2.5.1.- *Funciones del agua:* ⁽⁹⁾

La mayoría de las funciones biológicas del agua están relacionadas con su propiedad de actuar como solvente de numerosos compuestos. Participa en la digestión (hidrólisis de las proteínas, grasas e hidratos de carbono), la absorción de los nutrientes digeridos, el transporte de metabolitos en el organismo y la excreción de los productos de desecho. Casi todos de los procesos metabólicos y anabólicos que tienen lugar en el interior de los tejidos, suponen la incorporación o liberación de agua.

La regulación de la temperatura corporal depende, en parte, de la alta conductividad del agua para distribuir el calor uniformemente en el organismo y, en su caso, eliminar por evaporación el agua liberada en exceso en las reacciones metabólicas del interior de las células. Los cambios bruscos en la temperatura corporal se evitan por el elevado calor específico del agua, es decir, por su alto calor latente de vaporización, unido al elevado contenido de agua del cuerpo.

2.5.2.- Pérdidas de agua: ⁶⁹

El organismo pierde agua constantemente con el aire espirado, por evaporación en la piel y, periódicamente, por excreción en la orina y las heces. El agua en la orina actúa como solvente de los productos excretados por los riñones, principalmente productos de la degradación de las proteínas (urea en los mamíferos o ácido úrico en las aves) y minerales, esto resulta de vital importancia ya que la urea en solución acuosa concentrada resulta tóxica para los tejidos.

Las pérdidas de agua a través de las heces son considerablemente superiores en los bovinos que en las demás especies, resultando casi iguales a las pérdidas urinarias, en tanto que en el hombre representa, aproximadamente del 7-10% del agua de la orina. El ganado vacuno que consume raciones fibrosas excreta heces con 68-80% de agua, mientras que en los ovinos, contienen 50-70% de humedad. Cuando existen diarreas, las pérdidas de agua son muy elevadas.

2.5.3.- Necesidades de agua: ⁶⁹

Es un hecho bien conocido que los animales son más sensibles a las faltas de agua que a la de alimentos. El primer efecto apreciable de la restricción moderada de agua es la reducción en la ingestión de alimentos y la consecuencia más severa es una rápida pérdida de peso a medida que el organismo se deshidrata, esto supone la pérdida de agua y electrolitos. Cuando se pierde el 10% del contenido en agua del organismo por deshidratación, se considera grave y con el 20% se llega a la muerte. Por otra parte los animales son capaces de sobrevivir aún con el 40% de pérdida de su peso corporal debida a la inanición.

Las necesidades de agua se ven afectadas por factores tanto alimentarios como ambientales. Con respecto a los primeros a mayor cantidad de materia seca y sales minerales en el alimento aumenta la ingestión de agua, especialmente el cloruro de sodio.

En el cuadro No.4 se presentan los signos clínicos y subclínicos provocados por la deficiencia de nutrimentos.

CUADRO No.4 SIGNOS CLINICOS PROVOCADOS POR LA DEFICIENCIA DE NUTRIMENTOS⁽¹⁹⁾

NUTRIMENTO	SIGNOS CLÍNICOS	SUBCLÍNICOS
GLUCOSA (ENERGIA)	Debilidad, baja temperatura corporal, pérdida de peso, coma y muerte.	Hipoglucemia, pérdida de grasa subcutánea, elevado hematocrito y colesterol sérico, disminución de glucosa, calcio y sodio en plasma.
AMINOACIDOS (PROTEINA)	Impedimento del crecimiento, disminución de la resistencia de infecciones bacterianas.	En lechones signos parecidos a Kwashiorkor, disminución de albúmina y proteína sérica, anemia, edema grave e incremento en la concentración de lípidos en el hígado.
LÍPIDOS	Dermatitis	
AGUA	Pérdida del apetito, deshidratación, pérdida de peso corporal, posible envenenamiento salino y muerte.	Alto hematocrito, niveles elevados de electrolitos en sangre, pérdida de la regulación de temperatura, y deshidratación de tejidos

2.6.- LOS MINERALES.

En los tejidos animales y en los alimentos se encuentran unos 45 elementos minerales en cantidades y concentraciones muy variables. Los siguientes siete elementos se encuentran en el organismo en alta concentración (más de 70 mg/kg. de peso vivo) y se denominan macroelementos: calcio (Ca), fósforo (P), magnesio (Mg), sodio (Na), potasio (K), cloro (Cl) y azufre (S). El organismo contiene cantidades muy bajas de, aproximadamente, otros 40 elementos (menos de 70 mg/kg. de peso vivo), conocidos como microelementos o elementos traza. Los siguiente 15 elementos han demostrado realizar funciones fisiológicas en el organismo y son los elementos trazas indispensables: hierro (Fe), cobre (Cu), cobalto (Co), manganeso (Mn), zinc (Zn), yodo (Y), selenio (Se), molibdeno (Mo), cromo (Cr), flúor (F), estaño (Sn), vanadio (V), silicio (Si), níquel (Ni), y arsénico (As). Además de los 22 macro y microelementos indispensables, los tejidos animales y vegetales contienen otros 23 elementos minerales en pequeñas cantidades. No se les ha asignado funciones vitales y se considera que su presencia en el organismo animal se debe a que se encuentran en los alimentos.⁽⁶¹⁾

CUADRO No.5 CLASIFICACIÓN DE LOS MINERALES BASADA EN SU FUNCIÓN BIOLÓGICA. (61)

ELEMENTOS INDISPENSABLES		ELEMENTOS PROBABLEMENTE INDISPENSABLES		ELEMENTOS DE FUNCIÓN INCIERTA
CALCIO	AZUFRE	LITIO	BERILIO	PLOMO
FÓSFORO	MAGNESIO	TITANIO	BORO	ANTIMONIO
POTASIO	HIERRO	VANADIO	SCANDIO	CESIO
CLORO	COBRE	NIQUEL	GALIO	BARIO
SODIO	COBALTO	ARSENICO	GERMANIO	MERCURIO
ZINC	MANGANESO	BROMO	RUBIDIO	ESTAÑO
MOLIBDENO	YODO	ESTRONCIO	ZIRCONIO	BISMUTO
SELENIO	FLUOR	CADMIO	PLATA	RADIO
SILICIO	CROMO	ALUMINIO		TORIO
				URANIO

Los minerales tienen tres funciones generales:

(1) Estructural.- Participan en la composición de órganos, tejidos y en la ultra estructura; como es el caso de huesos y dientes (Ca, P, Mg, F y Si) que contienen no menos del 80% del contenido total de minerales del organismo; proteínas musculares (P y S) y en la unidad de membrana celular (P).

(2) Electrolítica.- Sólo pequeñas fracciones del calcio, magnesio y fósforo, y la mayor parte del sodio, potasio y cloro se encuentran como electrolitos en los líquidos orgánicos y en los tejidos blandos. Los electrolitos presentes en líquidos como la sangre o el líquido cefalorraquídeo realizan importantes funciones en el mantenimiento del equilibrio ácido-base y la presión osmótica; regulan la permeabilidad de la membrana y ejercen efectos característicos sobre la excitabilidad de los músculos y nervios. Las sales de la saliva, jugos gástricos e intestinales, y líquido ruminal, proporcionan al tracto digestivo el medio adecuado para la actuación de las enzimas y el crecimiento de los microorganismos.

(3) Catalítica.- Los elementos trazas indispensables son componentes integrales de ciertas enzimas y otros compuestos biológicamente importantes, como el hierro en la hemoglobina, el cobalto en la vitamina B₁₂ y el yodo en la hormona tiroxina. Así mismo, los elementos traza funcionan como activadores de enzimas. (4)

Cada órgano de acuerdo a su función tiene una composición mineral característica que, es muy semejante en todos los mamíferos. No obstante, tras un periodo de subnutrición o privación de agua se produce una elevación brusca en el contenido mineral. Debe observarse que

el sodio, potasio y cloro son constantes durante todas las fases del desarrollo en el organismo, desde el embrión hasta el desarrollo completo; en tanto el magnesio, calcio y fósforo se encuentra a la mitad en el embrión en relación al animal adulto.⁽⁵⁶⁾

Los niveles de macrominerales en el suero sanguíneo, especialmente los del calcio, magnesio, potasio y cloro, se mantienen dentro de márgenes relativamente estrechos por mecanismos de control hormonal, independientemente de las cantidades aportadas por los alimentos.⁽⁶¹⁾

2.6.1.- Fuentes de minerales en la ración:

Los animales domésticos obtienen la mayoría de los minerales en los concentrados y forrajes que consumen. Otras fuentes son los suplementos minerales de origen animal como la harina de hueso o de origen geológico como fosfatos de calcio, roca fosfórica y cloruro sódico. La contaminación de los forrajes con tierra, puede considerarse como una fuente adicional para los animales en pastoreo.

El contenido en minerales de los vegetales dependen de la especie vegetal, composición del suelo donde se desarrolla la planta, fase de madurez, condiciones climáticas, tratamientos agrícolas como abonado o riego, etc.

Las condiciones ambientales tienen una mayor influencia sobre la composición de las diversas partes vegetativas de las plantas, que sobre los granos y semillas. Existen fluctuaciones mucho más amplias en los contenidos en microelementos en un mismo alimento, que en los contenidos en macroelementos y se debe a la gran variación en el contenido en elementos traza en el suelo de las distintas áreas geográficas y a la influencia de las condiciones variables del suelo sobre la captación de los minerales por las plantas.

La ingestión prolongada de raciones deficientes, desequilibradas o con altos contenidos en ciertos minerales, determinan cambios en la concentración en los tejidos animales, ya sea por debajo o por encima de los límites permisibles. En esas circunstancias, las funciones fisiológicas pueden verse afectadas negativamente. Los trastornos nutricionales provocados pueden ser: retraso en el crecimiento, mala absorción de nutrimentos, baja productividad, así como trastornos en la fertilidad y en un estado de salud general. Pueden existir deficiencias minerales graves o llegar a una intoxicación, acompañadas de alta mortalidad en los animales, hasta

situaciones intermedias que se presentan con cierta frecuencia debido a deficiencias minerales locales.

Si las necesidades minerales de los animales no se cubren mediante la combinación de los alimentos disponibles, las raciones pueden suplementarse con concentrados de uno o más elementos minerales, o con correctores minerales comerciales. Los minerales suplementarios pueden proporcionarse, mediante bloques para lamer que contengan las cantidades adecuadas de los elementos deficitarios, el tratamiento del agua de bebida con sales solubles o la inyección de compuestos orgánicos de absorción retardada.⁽⁴⁾

Existen numerosas interacciones sinérgicas o antagónicas de todos los elementos y sus compuestos en los ambientes digestivo y metabólico importantes para los cerdos, como por ejemplo:

CALCIO-FOSFORO-VITAMINA D: Es importante la vitamina D para la utilización de los dos minerales y con síntomas similares en condiciones carenciales de cualquiera de los tres.

CALCIO-MAGNESIO-FOSFORO: Se establece por un comportamiento aparente de las vías de absorción intestinal y por su participación conjunta en el tejido óseo.

CALCIO-ZINC-FOSFORO: Esta identificado que niveles elevados de Ca incrementan sensiblemente las necesidades de Zn por interferir en los mecanismos de absorción de este último. Agravándose la condición por la presencia de fitatos vegetales que se combinan con el Zn tornándolo indisponible y provocando una escasa absorción intestinal.

CALCIO-COBRE-MAGNESIO-HIERRO-iodo: Se sabe que los excesos dietarios de Ca pueden incrementar las necesidades de los otros elementos, por la interferencia en los sistemas de absorción.

MAGNESIO-HIERRO: Se ha reconocido cierta relación entre el nivel de Mg en la dieta con los niveles necesarios de Fe en la misma.

COBRE-ZINC-HIERRO: Los niveles elevados de Cu en la dieta incrementa las necesidades de Zn y Fe.⁽⁶¹⁾

Como se mencionó anteriormente existen minerales que forman parte de ciertas enzimas, que actúan en el metabolismo en el cuadro No.6 se muestran las metaloenzimas más importantes y su función.

CUADRO No.6 METALOENZIMAS MAS IMPORTANTES⁽⁶¹⁾

METAL	ENZIMA	FUNCIÓN
Fe	SUCCINATO DESHIDROGENASA CITOCROMOS CATALASA	OXIDACIÓN AEROBICA DE GLÚCIDOS TRANSFERENCIA DE ELECTRONES PROTECCIÓN CONTRA PERÓXIDO
Cu	CITOCROMO OXIDASA LISIL OXIDASA CERULOPLASMINA SUPEROXIDO DISMUTASA	OXIDACIÓN TERMINAL OXIDACIÓN DE LISINA UTILIZACIÓN DEL HIERRO DISMINUCIÓN DE SUPEROXIDOS
Zn	ANHIDRASA CARBÓNICA CARBOXIPEPTIDASA FOSFATASA ALCALINA TIMIDIN CINASA ARN Y ADN POLIMERASAS	FORMACIÓN DE CO ₂ DIGESTIÓN PROTEINICA HIDRÓLISIS DE FOSFATOS FORMACIÓN DE TTP FORMACIÓN DE ÁCIDOS NUCLEICOS
Mn	PIRUVATO CARBOXILASA SUPEROXIDO DISMUTASA	METABOLISMO DEL PIRUVATO DISMINUCIÓN DE SUPEROXIDOS
Mo	XANTINA OXIDASA SULFITO OXIDASA	METABOLISMO DE BASES PURICAS OXIDACIÓN DE SULFITOS
Se	GLUTATION PEROXIDASA	REMOCIÓN DE PERÓXIDO

Es importante tomar en cuenta que las fuentes alimenticias que aportan minerales poseen compuestos que limitan la disponibilidad biológica relativa de los elementos. En seguida en el cuadro No. 7 se mencionan algunos de los compuestos que se encuentran en la dieta y que pueden modificar dicha biodisponibilidad:

CUADRO No. 7 COMPUESTOS QUE LIMITAN LA DISPONIBILIDAD BIOLÓGICA DE LOS MINERALES. ⁽⁶¹⁾

ELEMENTO	MODIFICADORES DE LA DISPONIBILIDAD
CALCIO	FITATOS Y OXALATOS, P, Zn
MAGNESIO	FITATOS, Ca, P, NITRÓGENO, K, CITRATO, TRANSACONITATO
COBRE	Mo, S, Fe, Zn, FITATOS, Cd, Ag, Pb, Hg
IODO	As, Co, Fe, Mn, BOCIÓGENICOS
FLUOR	MOLIBDENO
FIERRO	Ca, P, Cu, Zn, Cd, FITATOS
MANGANESO	Fe, FITATOS
MOLIBDENO	POSIBLEMENTE EL S
SELENIO	COMPUESTOS CON AZUFRE
VANADIO	CROMO
ZINC	Cu, Cd, Hg, Se, Ca, P, Mg, Pb Y FITATOS

El cuadro No. 8 muestra los signos clínicos y subclínicos provocados por la deficiencia de minerales:

CUADRO No.8 SIGNOS CLÍNICOS POR DEFICIENCIA DE MINERALES. ⁽¹⁹⁾

MINERAL	SIGNOS CLÍNICOS	SUBCLÍNICOS
CALCIO	Cojera, osteomalacia, niveles bajos de calcio en los huesos.	Falta de calcificación de los huesos, fractura de huesos, niveles bajos de calcio en plasma, aumento de fósforo inorgánico sérico y fosfatasa alcalina.
FOSFORO	Crecimiento lento, cojera, osteomalacia.	Falta de calcificación de huesos, fracturas de huesos, niveles bajos de fósforo inorgánico sérico, aumento de calcio sérico y de fosfatasa alcalina, ampliación de la coyuntura costocondrial.
MAGNESIO	Crecimiento lento, síndrome del sueño, debilidad de las articulaciones de las falanges carpo-metacarpo y tarso-metatarso, tétanos.	Niveles bajos de calcio y magnesio sérico, disminución de magnesio en huesos.
POTASIO	Anorexia, pelo áspero, esquelético, ataxia.	Disminución del músculo cardíaco, incremento de los intervalos PR, QRS y QT en electrocardiograma, disminución de potasio sérico.
SODIO	Pérdida del apetito, disminución del consumo de agua.	Balance negativo de sodio, aumento del potasio sérico y urea en plasma, reducción de la retención de cloro.
CLORO	Crecimiento lento.	Reducción del cloro en plasma, disminución de la retención de sodio y potasio.
HIERRO	Crecimiento lento, pelo áspero, anoxia.	Anemia microtica hipocrómica, aumento del corazón y bazo, aumento de la grasa del hígado, ascites, agrupamiento de las células eritoblasticas en la médula del hueso, reducción del hierro sérico y saturación del porcentaje de transferrina.
COBRE	Debilidad de piernas, ataxia.	Anemia ferropriva microtica, reducción del cobre sérico y ceruloplasmina, ruptura de la aorta e hipertrofia cardíaca.
ZINC	Crecimiento lento, pérdida del apetito y paraqueratosis.	Reducción de zinc sérico, tisular y en leche, reducción de la proporción albúmina-globulina sérica, reducción de la fosfatasa alcalina sérica, disminución del peso del timo y retardo del desarrollo testicular e infertilidad en cerdas.
IODO	Bocio, mixedema, camadas débiles y cerdos lampiños.	Ampliación de la tiroides, hiperplasia del epitelio folicular de la tiroides y reducción del Iodo en plasma.
MAGNESIO	Cojera de cerdos en crecimiento, incremento del depósito de grasa en cerdas jóvenes preñadas con lechones recién nacidos con poco equilibrio.	Reemplazo del hueso esponjoso con tejido fibroso, cierre prematuro del plato distal, niveles bajos de magnesio sérico y de fosfatasa alcalina, balance negativo de magnesio.

2.7.- LAS VITAMINAS:

Además de las proteínas, grasas, hidratos de carbono, minerales y agua, las vitaminas (compuestos orgánicos específicos) se precisan en pequeñas cantidades para el funcionamiento normal del organismo animal, para el mantenimiento, crecimiento y la producción. Las vitaminas no son alimentos en el sentido ordinario de la palabra, ya que su función es catalítica. Deben proporcionarse a partir de fuentes exógenas, principalmente con la ración, o proceder de la síntesis por los microorganismos que se encuentran en el aparato digestivo. La mayoría de los vegetales y microorganismos pueden sintetizar vitaminas, características que no poseen los animales, cuya capacidad de síntesis es mucho más limitada.

Estos compuestos son necesarios para que tengan lugar reacciones metabólicas específicas en el interior de las células. Si se omite en la ración una vitamina determinada, la correspondiente reacción bioquímica en que participa no puede realizarse y aparecen los síntomas específicos de la avitaminosis. Las deficiencias vitamínicas absolutas no suelen darse en las condiciones normales de explotación, sino más bien deficiencias marginales que provocan síntomas inespecíficos como pérdida del apetito, mal aspecto general, retraso del crecimiento y una mala utilización de los alimentos. El curso de las deficiencias varía en las diferentes especies animales.

Las distintas vitaminas se diferencian notablemente en su estructura química y en su función metabólica. Se clasifican, sobre la base de sus propiedades de en vitaminas *liposolubles* e *hidrosolubles*; las cuales se muestran en el cuadro No.9. Todas las vitaminas del grupo B, funcionan como coenzimas; es decir moléculas pequeñas unidas débilmente a una proteína transportadora, (apoenzima), para dar lugar a una enzima (llamada haloenzima):



En realidad, la coenzima puede ser la propia vitamina, o la vitamina después de sufrir algún cambio químico (en los tejidos del animal), o la vitamina unida a otro compuesto de pequeño peso molecular. Las enzimas que contienen vitaminas del grupo B catalizan la oxidación de los hidratos de carbono, ácidos grasos y aminoácidos (reacciones vitales para la producción de energía) e intervienen en la síntesis de importantes componentes celulares.⁽⁴⁾

2.7.1.- *Propiedades de las vitaminas liposolubles e hidrosolubles:*

Las vitaminas liposolubles se absorben en el tracto digestivo con las grasas, tras la incorporación a las micelas. Las condiciones que favorecen la absorción de las grasas como el adecuado flujo de la bilis y el pequeño tamaño de las partículas, mejoran, la absorción de las vitaminas liposolubles.

Las vitaminas liposolubles e hidrosolubles también se diferencian por su capacidad para ser almacenadas en el organismo. Los tejidos que contienen grasa (adiposo e hígado) pueden almacenar las vitaminas liposolubles, que pueden servir al organismo como aporte durante los periodos de depleción. Las vitaminas hidrosolubles, por el contrario, no se acumulan en el organismo en cantidades significativas de modo que para evitar las deficiencias es necesaria la ingestión frecuente.

La diferencia en la vía de excreción también refleja la diferencia en la solubilidad de cada grupo de vitaminas. Las vitaminas liposolubles se excretan, principalmente, en las heces por medio de la bilis, y las vitaminas hidrosolubles lo hacen principalmente por la orina. Cierta cantidad de las vitaminas hidrosolubles originadas por síntesis bacteriana puede encontrarse en las heces.

2.7.2.- *Provitaminas:*

Existen ciertos compuestos que no son vitaminas propiamente dichas, pero que funcionan como vitaminas tras experimentar modificaciones químicas. Después de ser ingeridas con la ración, estos compuestos se convierten en las células del organismo en vitaminas. Son precursores de vitaminas y se denominan provitaminas. El mejor ejemplo lo constituyen los carotenos- pigmentos vegetales que se convierten en vitamina A en la pared intestinal. Otro ejemplo es la provitamina D (colecalférol) cutánea que se convierte por irradiación en vitamina D, o el aminoácido triptófano que puede convertirse en niacina.

2.7.3.- *Antivitaminas:*

Ciertos compuestos de estructura semejante a las vitaminas, principalmente a las del complejo B, pueden sustituir a la vitamina en la holoenzima uniéndose a la apoenzima, con lo cual, impiden a la vitamina verdadera combinarse con la apoenzima que normalmente se combinaría. La

consecuencia de lo anterior es la inhibición o anulación total del funcionamiento de la vitamina. Los compuestos de este tipo se denominan antivitaminas.

El contenido vitamínico de los alimentos varía ampliamente dependiendo de las características del mismo, si son semillas, hojas, tallos, etc., condiciones de cultivo, fecha de cosecha y forma de preparación de los alimentos. La mayoría de las vitaminas se destruyen por oxidación, proceso que se ve favorecido por la temperatura, aire, luz y trazas de los metales pesados. Por consiguiente, las condiciones de almacenamiento y procesado de los alimentos afecta su valor. Para lograr un aporte adecuado de estas en la dieta debe hacerse la fortificación, ya sea con vitaminas puras de origen sintético o correctores vitamínicos comerciales.

CUADRO No.9 CLASIFICACIÓN DE LAS VITAMINAS⁽⁴⁾

VITAMINAS LIPOSOLUBLES	NOMBRE QUÍMICO	VITAMINAS HIDROSOLUBLES	NOMBRE QUÍMICO
A	RETINOL	B ₁	TIAMINA
D ₂	ERGOCALCIFEROL	B ₂	RIBOFLAVINA
D ₃	COLECALCIFEROL		NICOTINAMIDA
E	α -TOCOFEROL	B ₆	PIRIDOXINA
K	FILOQUINONA	B ₅	ÁCIDO PANTOTENICO
			BIOTINA
			ÁCIDO FOLICO
			COLINA
		B ₁₂	CIANOCOBALAMINA
		C	ÁCIDO ASCORBICO

En el cuadro No. 10 se muestran las funciones nutricionales de las vitaminas:

CUADRO No. 10 FUNCIONES NUTRICIONALES DE LAS VITAMINAS⁽¹⁴⁾(63)(64)

	FUNCIÓN
VITAMINA A	NECESARIA PARA UNA VISIÓN NOCTURNA NORMAL, FORMACIÓN DE LA RODOPSINA O DEL PÚRPURA VISUAL DEL OJO; ACTIVIDAD OSTEOBLÁSTICA NORMAL; CÉLULAS EPITELIALES; SÍNTESIS DE GLUCOPROTEÍNAS.
VITAMINA D	NECESARIA PARA ELEVAR LOS NIVELES PLASMÁTICOS DE Ca Y P PARA UNA MINERALIZACIÓN ÓSEA Y TONO MUSCULAR NORMAL; PREVIENE LA TETANIA JUNTO CON LA HORMONA PARATIROIDEA (PTH) PRODUCIDA POR LA HIPOCALCEMIA
VITAMINA E	ES UN ANTIOXIDANTE, DEPREDAADOR DE RADICALES LIBRES EN EL METABOLISMO DE LOS ÁCIDOS NUCLÉICOS Y PROTEÍNAS. IMPORTANTE EN LA INTEGRIDAD DE LAS MEMBRANAS CELULARES, METABOLISMO MITOCONDRIAL, CONTROLA LA SÍNTESIS DE PROSTAGLANDINAS.
VITAMINA K	NECESARIA PARA LA COAGULACIÓN SANGUÍNEA NORMAL. SÍNTESIS DE LA PROTROMBINA EN EL HÍGADO.
VITAMINA B₁	ES FOSFORILADA EN EL HÍGADO Y FORMA LAS COENZIMAS. COCARBOXILASA O PIROFOSFATO DE TIAMINA (TPP) Y LIPOTIAMIDA (LTPP).
VITAMINA B₂	ACTÚA CON LAS COENZIMAS FAD Y MNF.
NIACINA	CONSTITUYENTE DE LAS ENZIMAS NAD Y NADP. QUE ACTÚAN COMO CODEHIDROGENASAS.
ÁCIDO PANTOTÉNICO	ACTÚA COMO COMPONENTE DE LA COENZIMA A (CoA) QUE SE NECESITA PARA LA ACETILACIÓN DE NUMEROSOS COMPUESTOS.
VITAMINA B₆	ACTÚA COMO COENZIMA DE UNA GRAN CANTIDAD DE SISTEMAS ENZIMÁTICOS QUE SE ASOCIAN CON EL METABOLISMO DE LAS PROTEÍNAS Y DEL NITRÓGENO.
VITAMINA B₁₂	ACTÚA COMO COENZIMA: ISOMERASAS (MUTASAS), METILMALONIL-CoA ISOMERASA; DESHIDROGENASAS Y LAS ENZIMAS QUE INTERVIENEN EN LA SÍNTESIS DE METIONINA (METIL TRANSFERASA).
ÁCIDO FOLICO	INTERVIENE EN REACCIONES METABÓLICAS QUE IMPLICAN LA INCORPORACIÓN DE UNIDADES INDIVIDUALES DE CARBONO A MOLÉCULAS MAYORES. (BIOSÍNTESIS DE LAS PURINAS, PIRIMIDINAS, GLICINA, SERINA Y CREATINA) ASÍ COMO EN LA SÍNTESIS DE LAS ENZIMAS COLINA OXIDADA Y XANTINA OXIDADA (METABOLISMO DE LA COLINA Y METIONINA).
BIOTINA	PARTICIPA EN LAS REACCIONES: CONVERSIÓN DEL PROPIONIL CoA EN METILMANOLIL-CoA; DEGRADACIÓN DE LA LEUCINA; METABOLISMO DE LAS GRASAS; Y EN LAS DE TRANSCARBOXILACIÓN. INTERVIENE EN LA SÍNTESIS DEL AC. ASPÁRTICO, EN LA DEAMINACIÓN DE LOS AMINOÁCIDOS Y EN LAS ACTIVIDADES DE LA ENZIMA MALICA Y DE LA ORNITINA TRANSCARBOXILASA.
COLINA	COMPONENTE ESTRUCTURAL DE LOS TEJIDOS (EN LA LECITINA Y ESFINGOMIELINAS) RELACIONADOS CON LA TRANSMISIÓN DE LOS IMPULSOS NERVIOSOS COMO UN COMPONENTE DE LA ACETILCOLINA; SUMINISTRA GRUPOS METILO BIOLÓGICAMENTE LABIALES; TIENE EFECTOS LIPOTRÓPICOS, FACILITA LA FORMACIÓN Y LA SECRECIÓN DE LOS QUILOMICRONES EN EL INTESTINO.
VITAMINA C	RELACIONADA CON LAS ENZIMAS QUE CATALIZAN REACCIONES OXIDO-REDUCCIÓN (TRANSPORTE DE ELECTRONES), OXIDACIÓN NORMAL DE LA TIROSINA Y PARA EL METABOLISMO NORMAL DEL COLÁGENO. SE NECESITA PARA LA FORMACIÓN DE LA HIDROXIPROLINA A PARTIR DE LA PROLINA Y DE LA HIDROXILISINA A PARTIR DE LISINA. COMO COSUBSTRATO EN OXIDACIONES, COMO EN LA CONVERSIÓN DE LA DOPAMINA EN NOREPINEFRINA; JUNTO CON EL ATP INCORPORA EL Fe PLASMÁTICO EN LA FERRITINA.

En el siguiente cuadro (No.11) se muestran los signos clínicos y subclínicos provocados por la deficiencia de vitaminas.

CUADRO No.11 SIGNOS CLÍNICOS POR DEFICIENCIA DE VITAMINAS. ⁽¹⁹⁾

NUTRIMENTO	SIGNOS CLÍNICOS	SUBCLÍNICOS
VITAMINA A	Descoordinación, lardosis, parálisis de los miembros posteriores, ceguera nocturna, defectos congénitos.	Crecimiento retardado de los huesos, incremento en la presión de los fluidos cerebrospinales, degeneración de los nervios ciático y femoral, mínima visión purpúrea, atrofia de las capas epiteliales del tracto genital.
VITAMINA D	Cojera, osteomalacia, disminución del calcio en los huesos.	Falta de calcificación de los huesos y proliferación de cartilago, fractura de costillas y vértebras, bajos niveles en el plasma de calcio, magnesio y fósforo inorgánico y elevados niveles de fosfatasa alcalina sérica.
VITAMINA E-SELENIO	Edema, muerte repentina.	Edema generalizado, necrosis hepática, microangiopatía, degeneración del músculo cardíaco, distrofia y palidez muscular.
VITAMINA K	Lechones recién nacidos pálidos con bajo peso y hemorragias en el cordón umbilical, muerte repentina.	Hemorragias internas, aumento del tiempo de protrombina, aumento del tiempo de coagulación y anemia debido a la pérdida de sangre.
TIAMINA	Disminución del apetito, crecimiento lento, muerte repentina.	Hipertrofia cardíaca, bradicardia, primero y segundo grado de obstrucción aurículo-ventricular, elevada concentración de piruvato en plasma.
RIBOFLAVINA	Crecimiento lento, seborrea, infertilidad.	Cataratas, aumento de leucocitos neutrofilos, nacimiento de cerdos débiles con anomalías en el esqueleto.
NIACINA	Disminución del apetito y crecimiento lento, diarrea severa, y dermatitis.	Lesiones necroticas en el intestino.
ACIDO PANTOTENICO	Pérdida del apetito, crecimiento lento, diarrea, modo inusual de movimiento (paso de oca), infertilidad.	Colitis, degeneración de los nervios ciático y periféricos, disminución de los niveles del ácido pantoténico en plasma, disminución del nivel libre de ácido pantoténico en leche.
VITAMINA B ₆	Crecimiento lento y ataques epilépticos.	Anemia hipocrómica microcítica, elevación de hierro sérico, infiltración de grasa del hígado, aumento del ác. xanturónico en orina, aumento de γ -globulina en la fracción proteica en plasma.
VITAMINA B ₁₂	Crecimiento lento, hipersensibilidad e infertilidad en cerdas.	Disminución de los niveles de B ₁₂ sérica y en tejidos.
BIOTINA	Dermatitis, parálisis de los miembros traseros.	Disminución de la excreción de biotina en plasma.
AC. FOLICO	Crecimiento lento, debilidad.	Anemia normocítica.

2.8.- ANATOMIA, FISIOLOGIA Y DIGESTION DEL APARATO DIGESTIVO DEL CERDO ⁽⁷⁰⁾

El aparato digestivo de un animal es como un tubo hueco que atraviesa un barril, por lo que se puede considerar que el proceso digestivo es externo al animal ya que ocurre en el interior de un tubo que lo atraviesa.

El hecho de que el canal digestivo se encuentre dentro del organismo le representa a éste varias ventajas como son la posibilidad de controlar la temperatura y el pH; la capacidad de almacenar alimentos para su desdoblamiento posterior; la característica de localización estratégica de las glándulas que secretan los compuestos digestivos; el incremento en la superficie total tanto para el desdoblamiento como para la absorción; la posibilidad de retener los desechos para su posterior evacuación.

Como ya se mencionó, el canal digestivo puede ser comparado con un tubo que atraviesa un barril y que está provisto por una serie de cámaras (boca, estómago, intestino delgado, intestino grueso) y evaginaciones (glándulas salivales, páncreas, hígado). Las cámaras y evaginaciones mencionadas varían en su localización, tamaño y funciones; sin embargo tienen algunos aspectos en común, como el hecho de que a partir del esófago, todos los órganos guardan cierta similitud en cuanto a sus componentes tisulares. Por lo tanto, se pueden identificar las siguientes estructuras: mucosa; submucosa; musculatura circular; musculatura longitudinal; serosa.

La mucosa tiene dos funciones principales, la de proveer de secreciones ya sean endocrinas (como las hormonas que vierte a la sangre) o exócrinas (como la mucina o las enzimas que vacía en el tubo digestivo), y la de absorción.

Las capas musculares son responsables de los movimientos de mezclado del bolo alimenticio y de la propulsión del mismo hacia los compartimientos posteriores.

La serosa facilita el deslizamiento de los órganos y los protege de roces e irritaciones.

2.8.1.- BOCA: Es el primer órgano del aparato digestivo que entra en contacto con el alimento y en él tienen lugar las funciones de presión, masticación, insalivación y deglución. Se encuentra formado por los labios, los dientes y la lengua. La masticación es un proceso mecánico por el que se rompen las partículas grandes de alimento con objeto de facilitar la acción posterior de las

enzimas y agentes químicos digestivos. Durante este proceso se lleva a cabo la insalivación, que permite el humedecimiento y el consiguiente ablandamiento del alimento. La saliva tiene entre otras funciones el iniciar el desdoblamiento de los almidones mediante una amilasa, llamada *ptialina*. El almidón es desdoblado a oligosacáridos y posteriormente a maltosa. La acción de la amilasa es máxima a pH neutro (6.8). La masticación provoca la estimulación refleja de los centros motores del vago, para la secreción de *pepsinógeno* por medio de las células principales; *HCl* por las células parietales; *mucina* por las células de la mucosa; y la hormona *gastrina* por el antro pilórico.

2.8.2.- ESTOMAGO: Una vez deglutido el bolo alimenticio, éste es conducido por medio de movimientos peristálticos al estómago, el cual tiene funciones de almacenamiento, de mezclado, de macerado (que consiste en la disminución gradual del tamaño de las partículas debido a la acción del mezclado) y del desdoblamiento químico-enzimático. El contacto de la ingesta en la mucosa gástrica sirve como estimulante directo de las funciones iniciadas por el vago y la hormona *gastrina* especialmente para la producción del llamado jugo gástrico. El HCl se forma a partir del ácido carbónico; el bióxido de carbono por la presencia de la enzima *anhidrasa carbónica* resulta en la formación del ácido carbónico, el cual en su forma disociada junto con el NaCl forman el HCl. El ácido actúa sobre los alimentos hidrolizando parcialmente a los mismos, principalmente a las proteínas y a los glúcidos. Es necesario para lograr la coagulación de la leche y para la activación del *pepsinógeno* mediante la donación de hidrógeno; además de ser indispensable para la solubilización de los mismos. El *pepsinógeno* en presencia de un pH ácido es transformado en su forma activa *pepsina*, la cual es una endopeptidasa proteolítica que al romper la estructura de las proteínas forma proteasas y peptonas; la presencia de éstas en el estómago a través de una ruta nerviosa-humoral, causa la producción refleja de mayor cantidad de jugo gástrico.

2.8.3.- DUODENO Y PANCREAS: En forma tradicional se ha incluido al duodeno como parte del intestino delgado, junto con el yeyuno y el íleon. Sin embargo, desde el punto de vista de la nutrición, debe considerarse como un órgano independiente (y posiblemente el más importante en el proceso digestivo), ya que en él se vierten las secreciones provenientes del páncreas y del hígado. La presencia del alimento (que a este nivel se le conoce como quimo) en el duodeno provoca la secreción de algunas hormonas que se vierten al torrente sanguíneo, las cuales se describen en el cuadro No. 12.

CUADRO No. 12 HORMONAS SECRETADAS AL DUODENO ⁽⁷⁰⁾

HORMONA	FUNCION
SECRETINA	Obliga al páncreas a la producción de un líquido acuoso, de baja acción enzimática y con un alto contenido de bicarbonato de sodio. Se vierte al duodeno para la neutralización del quimo ácido y estimula las contracciones intestinales.
COLECISTOQUININA-PANCREOZIMINA	Estimula al páncreas para que secrete y vierta al duodeno un líquido viscoso de elevada acción enzimática y bajo contenido de bicarbonato de sodio. Obliga a la contracción de la vesícula biliar y al vaciado de la bilis al duodeno por el conducto colédoco. Su función más importante es el control del consumo voluntario.
PEPTIDO GASTRO-INHIBIDOR	Inhibe las secreciones gástricas, estimulando la liberación de la insulina.
HEPATOCRININA	Estimula al hígado a la producción de bilis, y su deposición en la vesícula biliar.
ENTEROCRININA	Estimula al duodeno para la producción del llamado jugo intestinal, con un elevado poder enzimático.
PEPTIDO INHIBIDOR VASO ACTIVO	Aumenta la secreción de electrolitos al tubo intestinal.
SUBSTANCIA P, GLUCAGON, SOMATOSTATINA Y BOMBESINA	Han sido detectadas a lo largo de los intestinos en concentraciones variables, pero su función digestiva aún no ha sido dilucidada.

Las enzimas contenidas en los jugos pancreático e intestinal actúan a pH's de 7.5-8.0 y se muestran en el cuadro No. 13.

CUADRO No. 13 ENZIMAS DEL JUGO PANCREATICO. ⁽⁷⁰⁾

ENZIMA	FUNCION
ENTEROCINASA	Activación del precursor de la tripsina a un pH ácido (5.2-6.0) que es secretada en forma de zimógeno llamado tripsinógeno.
TRIPSINA	Es la principal enzima proteolítica digestiva, actúa sobre las proteínas, proteasas y peptonas, para la formación de polipéptidos y dipéptidos.
QUIMOTRIPSINA	Se produce en forma de un precursor llamado quimotripsinógeno, es activada a pH de 8.0. Su actividad proteolítica es complementaria de la pepsina gástrica y de la tripsina.
CARBOXIPEPTIDASA	Es una exopeptidasa secretada en forma de zimógeno llamado procarboxipeptidasa y se activa a pH alcalino por medio de la tripsina. Actúa sobre los grupos carboxilo terminales de los polipéptidos liberando los aminoácidos correspondientes.

CONTINUACION CUADRO No. 13

AMILASA	Desdobla los almidones contenidos en el quimo, liberando oligosacáridos de 6-7 glucosas y posteriormente moléculas de maltosa. Su pH de acción es alcalino.
LIPASA	Es activada por la bilis a pH de 8.0, específica para la separación de los ác. grasos en las posiciones a y a' de los triglicéridos, resultando en un monoglicérido y dos ác. grasos libres. El ác. graso en la posición b puede isomerizarse para ser liberado por la enzima, dando una molécula de glicerol y otro ác. graso libre.
COLESTEROL ESTEARASA	Es activada por la bilis. Ataca el colesterol libre para producir ésteres de colesterol y ác. grasos libres.
RIBONUCLEASAS Y DESOXIRIBONUCLEASAS	Desdoblan los ácidos del mismo nombre, liberando nucleótidos

CUADRO No.14 ENZIMAS DEL JUGO INTESTINAL. ⁽⁷⁰⁾

ENZIMA	FUNCION
AMINOPEPTIDASA	Actúa sobre los polipéptidos con grupos amino libres. Es una exopeptidasa y complementa su acción a la de la carboxipeptidasa pancreática.
DISACARIDASA	Atacan a los disacáridos contenidos en el quimo, liberando los monosacáridos en cada caso.
NUCLEOTIDASAS	Atacan a los nucleótidos, obteniéndose bases púricas y pirimidicas y pentosa-fosfato.
FOSFATASAS	Desdoblan los fosfatos orgánicos.
LECITINASAS	Actúan a los compuestos del mismo nombre, obteniéndose glicerol, ác. grasos libres, ác. fosfórico y colina.
DIPEPTIDASA	Responsable del desdoblamiento de los dipéptidos, resultando su acción en la liberación de dos aminoácidos.

2.8.4.- HIGADO: La bilis se produce en el hígado a partir del colesterol sanguíneo; se almacena en la vesícula y es liberada al duodeno durante el proceso de digestión. Está compuesta de las sales de los ácidos biliares, principalmente el ác. cólico, ác. litocólico y ác. quenodeoxicólico. Sus principales funciones consisten en colaborar a neutralizar el pH ácido del quimo; disminuir la tensión superficial de los contenidos del mismo, facilitar la digestión y la absorción de los lípidos (especialmente por la formación de la micela), funcionar como medio para la eliminación de sustancias tóxicas.

2.8.5.- INTESTINOS: El resto del tubo digestivo del cerdo no secreta ninguna otra enzima ni sustancia química que participe en la digestión. Sin embargo, los microorganismos presentes en el intestino grueso contribuyen a la economía nutritiva del animal. A los microorganismos se les atribuyen dos procesos bioquímicos: fermentación y/o putrefacción. En el caso del proceso fermentativo, se desdoblan los glúcidos estructurales (celulosa, hemicelulosa), y los nutrientes que escapan a la acción de las enzimas digestivas, dando lugar a la producción de ácidos grasos volátiles; vitaminas del complejo B y la C; metano y CO₂. La putrefacción se debe a la presencia de clostridios, que desdoblan los aminoácidos, formando aminas: histamina (de histidina); putrescina (de lisina); cadaverina (de arginina); etc.; además se libera amonio, ácido sulfhídrico, nitrógeno, hidrógeno, en su mayoría indeseables y metabolitos que además causan el olor característico de las heces. Por lo tanto, la materia fecal contiene las porciones no digeridas del alimento, los restos corporales propios del organismo como son enzimas, mucinas, células de descamación, etc., y los microorganismos y sus metabolitos. Los intestinos muestran dos tipos de actividad mecánica; la peristalsis y la segmentación. La primera es una serie de ciclos en los que la musculatura circular se contrae y hace que se produzca una onda en dirección caudal, que mueve el contenido del tubo hacia las secciones posteriores. El movimiento de segmentación tiene como objeto mezclar el contenido intestinal, de tal forma que el quimo y las enzimas estén en contacto de manera más eficiente; incrementando el proceso de absorción.

2.9.- DIGESTIBILIDAD ⁽¹²⁾(569 (79))

Hoy en día es necesario determinar el sitio y los productos finales de los componentes durante el proceso de digestión.

El proceso de digestión ha sido definido por Low, (1976), como el proceso de reducción del tamaño de una molécula orgánica por hidrólisis, ella precede a la "absorción" que es la entrada de nutrientes, iones y moléculas a las células de la mucosa intestinal. Sin embargo, los dos fenómenos se miden combinados y al valor obtenido se le llama **digestibilidad de un nutrimento**.

El análisis de la digestibilidad de un alimento es muy importante ya que este es el que va a marcar la diferencia entre la alimentación cuantitativa de la cualitativa. En las pruebas de digestibilidad o de balance (para el caso de los animales y el hombre respectivamente) se cuantifican los nutrientes

que se ingieren y se absorben en el tubo digestivo y las cantidades que se eliminan en las heces. Para esto es necesario conocer tanto la cantidad del alimento ingerido como excretado, siendo la diferencia entre ambas cantidades la parte que se asume fue digerida y absorbida por el animal, que al ser expresada como porcentaje resulta ser el coeficiente de digestibilidad aparente de la materia seca o de cada uno de los componentes de los alimentos; en general, los valores de la digestibilidad obtenidos son aparentes, ya que normalmente no se hacen ni mediciones, ni correcciones de los aportes metabólicos endógenos (de origen corporal), tales como enzimas, hormonas, metabolitos y células de descamación, entre otros, que se producen como consecuencia del proceso digestivo y que aparecen en las heces sin ser un residuo alimentario. Cuando dichos valores tomados en consideración y son corregidos se obtiene la digestibilidad verdadera, que en forma más precisa refleja la absorción de los nutrimentos aportados por el alimento.

Existen diferentes métodos para determinar la digestibilidad de un alimento o ración, entre ellos se encuentran la digestibilidad *in vivo*, *in vitro* e *in situ*.

El valor nutritivo potencial de un alimento puede ser determinado en primera instancia por el análisis químico proximal, pero el valor real del mismo para el animal sólo se puede lograr a través de un análisis de las pérdidas inevitables que ocurren durante la digestión, absorción y metabolismo. Esto obedece a que después de consumir un alimento, hay residuos no digeridos y que son excretados en las heces, lo cual significa una merma en términos de la utilización del alimento, por lo que la primera pérdida impuesta al mismo está representada por la parte que no es digerida, ni absorbida en el animal.

El análisis de la digestibilidad de un alimento es muy importante ya que existen diferentes moléculas en este, unas de fácil absorción y otras que son resistentes a la degradación enzimática en el caso de los animales monogástricos, y por ende excretadas en las heces, y es precisamente este tipo de análisis los que marcan la diferencia entre la alimentación cuantitativa de la cualitativa de un alimento.

Los métodos para la medición de la digestibilidad *in vivo* implican el empleo de animales, resultan costosos por el tiempo, la mano de obra calificada, las grandes cantidades de alimento y al número de análisis químicos que requieren, pero poseen menos posibilidades de error en relación a los métodos alternos.

En una prueba de digestibilidad *in vivo* se alimenta a un animal con cantidades predeterminadas de una dieta de composición conocida para medir cuidadosamente la ingestión de los diferentes nutrimentos por parte del animal durante un periodo de varios días, el cual se acompaña de la recolección total de las heces durante un periodo representativo. Se requiere que la recolección cuantitativa de las heces esté libre de contaminación urinaria y que éstas representen en forma cuantitativa el residuo no digerido del alimento ingerido previamente medido. Posteriormente, se analizan tanto el alimento como las heces para determinar el contenido de nutrimentos presentes. Al animal se le suministra la dieta a probarse en las mismas cantidades diarias durante un periodo preliminar para que se limpie o evacue el tubo digestivo de cualquier material no digerible existente en el mismo y que provenga del alimento consumido previo al inicio de la ingestión constante del alimento en estudio y para permitir que el animal se adapte a la dieta de prueba. Después de este periodo se realiza la recolección de heces y se continúa a través de toda la etapa de recolección. Posteriormente se hace un análisis de las heces, ya que los componentes que se pierden en las mismas corresponden a la mayor pérdida individual de los nutrimentos ingeridos, en virtud de que una vez que un alimento sufre los procesos de degradación gastrointestinal se expulsa el remanente en las mismas.

Como se mencionó la digestibilidad de un alimento va a expresar el porcentaje de todo el alimento o de un componente de este en particular, el cual no es excretado por el animal, asumiendo que es aprovechado y absorbido en el tracto gastro intestinal y comúnmente ésta es expresada en términos de materia seca y como porcentaje de coeficiente de digestibilidad.

En los animales monogástricos el tiempo que se requiere para que los residuos de los alimentos pasen a través del tracto gastrointestinal es de 1 a 3 días, por lo que la recolección de las heces para el análisis debe hacerse después de un periodo preliminar, el cual es necesario para eliminar residuos de alimentos previos y para que el animal se adapte a la nueva dieta; así mismo se menciona que en animales como el cerdo, la digestión y evacuación se completan normalmente a las 24 horas después de la ingestión de alimentos. Sin embargo para las pruebas de digestibilidad tanto en cerdos como en caballos el periodo de recolección de heces se hace 4 a 6 días.

Se mencionó que la digestión de un alimento se define como la preparación del mismo para su absorción a través del tracto gastrointestinal (TGI); es decir, la digestión gástrica y entérica como resultado de la acción de las enzimas gástricas, entéricas y pancreáticas; así como la digestión atribuida al ácido clorhídrico y bilis formados en el estómago e hígado respectivamente.

La evaluación de la digestibilidad implica la determinación de la cantidad de nutrimento que desaparece a través del TGI o dicho de otra manera cuanto material no es absorbido ni degradado. El coeficiente de digestibilidad de la fibra cruda está sujeto a controversia porque una parte de los residuos no digeridos de este componente alimenticio puede ser desdoblado en forma suficiente como para aparecer en la porción de fibra cruda.

Es importante señalar que cuando se determina la digestibilidad de celulosa o fibra hablamos de digestibilidad verdadera, ya que tanto la celulosa como la fibra no forman parte del tejido animal, no así cuando hablamos de cualquier otro compuesto que pueda ser secretado o excretado a través de las paredes intestinales y de ahí a las heces, como por ejemplo compuestos nitrogenados, lípidos, algunos hidratos de carbono y minerales; cuando este es el caso se antepone el adjetivo "aparente", quedando los términos como digestibilidad aparente o absorción aparente.

Existen diferentes factores que afectan la digestibilidad de un alimento, como por ejemplo la composición y preparación del mismo, lo que incluye tratamientos físicos, químicos o biológicos; cantidad de fibra y/o lignina presente en él; la cantidad de alimento consumido; tiempo de tránsito gastrointestinal; factores que afecten el apetito; la frecuencia en la alimentación; así como factores del animal per se, como la especie animal, edad y etapa productiva, entre otros.

Por otra parte se podría dar el caso en donde la digestibilidad pudiera ser sobre estimada, especialmente cuando la última comida del periodo experimental es larga y el incremento de la salida fecal es retrasado hasta después del final de la colección fecal.

La digestibilidad de los diferentes componentes químicos va a ser diferente y depende, por una parte, de la proporcionalidad que guarden entre sí, influyendo de manera decisiva en los animales monogástricos la fibra cruda, ya que además de su poca o nula digestibilidad su presencia en grandes cantidades disminuye la digestibilidad de los otros componentes. Asimismo, se reconoce que la digestibilidad de una mezcla no es necesariamente el promedio de los valores de sus componentes determinados en forma separada o indirecta, ya que cada alimento puede ejercer influencia sobre la digestibilidad de otros.

Por otra parte el aumento en el tránsito intestinal, influenciado ya sea por la cantidad de fibra que contenga el alimento o bien, por el procesamiento que se le de al mismo, reduce la digestibilidad del mismo debido a la limitación del tiempo para que se lleven a cabo la digestión (sobre todo en aquellos componentes de lenta digestión como serían los lípidos), y la absorción. Por otro lado, cuando el

alimento transita lentamente por el intestino se ve sujeto a fermentaciones excesivas que reducen la digestibilidad por una degradación tal que hace que se desperdicie el valor nutritivo del mismo.

Así mismo, en los animales existen variaciones en cuanto a la digestibilidad de un alimento se refiere. Se sabe que dentro de una misma especie animal hay diferencias más o menos grandes en el aprovechamiento de los alimentos y dependen, sobre todo, de la raza, etapas productivas (edad) y estado de salud, que en conjunto muestran hábitos y requerimientos alimentarios diferentes. Por lo tanto, la digestibilidad del mismo alimento puede variar aún dentro de la misma raza debido a que existen requerimientos nutricionales diferentes de un animal a otro.

Por otro lado, existe una influencia del nivel de nutrición en la digestibilidad de los alimentos en diversas especies animales. Cuando se reduce la ingestión de alimento por debajo del nivel de mantenimiento en animales que poseen completos e intactos todos sus órganos del aparato gastrointestinal, éstos tienden a ser más eficientes en la ingestión de alimentos y en el aprovechamiento de los nutrientes. Los factores que afectan la tasa de digestión se dividen en dos categorías:

- a) los inherentes a la pared celular
- b) los efectos de la población microbiana o de sus sistemas enzimáticos.

Existen diferentes métodos para determinar la digestibilidad de un forraje o ración, entre ellos se encuentran

1) Digestibilidad *in vivo*:

En este tipo de estudios como ya se mencionó requiere de animales confinados en jaulas metabólicas y sometidos a períodos de acostumbramiento para que los animales se adapten a la nueva dieta, así como para estabilizar el nivel de consumo, evitando la selectividad y por ende una fluctuación en el consumo, la cual tendrá efecto en la excreción.

El término tasa de digestión se refiere a la cantidad de alimento que se puede digerir por unidad de tiempo y es esencialmente una función de la dieta. La composición de la dieta, su calidad, deficiencias, excesos y disponibilidad de nutrientes, determinan la velocidad de la digestión.

2) Digestibilidad *in vitro*:

Los estudios *in vitro* se han desarrollado como alternativa a las técnicas de digestibilidad *in vivo* en condiciones de laboratorio. En estas se intenta simular los procesos digestivos, dónde se lleva a cabo una digestión enzimática, en las que intervienen pepsina, tripsina, pancreática, quimotripsina y peptidasa.

Numerosos autores han discutido las ventajas y desventajas de los métodos enzimáticos para la evaluación de la calidad de la proteína. El método de digestibilidad multienzimática *in vitro*, lo describió Hsu et al. (1979) como una alternativa a la evaluación de los alimentos que han sufrido tratamientos térmicos y para la industria de alimentos para animales. Este método se basa en el uso de una solución enzimática que contiene 1.6 mg. de tripsina, 3.1 mg. de quimotripsina y 1.3 mg. de peptidasa por ml. de solución. Se colocan 25 mililitros de una suspensión acuosa de proteína (6.25 mg proteína/ml) en tubos de ensaye, se ajusta el pH a 8.0 con HCl 0.1 N y se colocan en un baño de incubación a 37°C. Después de 10 minutos se adicionan 5 ml. de la solución enzimática y se mide la caída drástica de pH a los 10 min. siguientes por la liberación de los grupos carboxilos liberados de los péptidos. La caída del pH determina el porcentaje de digestibilidad de las proteínas.⁽⁴¹⁾

3) Digestibilidad *in situ*:

Esta técnica utiliza pequeñas bolsas de nylon (40 x 25 mm) con un poro de 20 micrones. La muestra dentro de las bolsas sufre una predigestión con proteasas. La técnica ha sido utilizada durante varios años para proporcionar valores estimados de la tasa de desaparición de la materia seca, proteína cruda y fundamentalmente de la fibra y sus fracciones en el tracto intestinal, estas son introducidas mediante una cánula duodenal y recuperada en la heces, esta técnica tiene la ventaja de dar una estimación rápida de la tasa y el grado de degradación de los alimentos, sin necesidad de ningún procedimiento complicado mas que simplemente pesar. Otra ventaja consiste en que el material alimenticio se encuentra en íntimo contacto dentro del tracto intestinal con el ambiente digestivo (temperatura, pH, enzimas, etc.) cosa que no sucede en la técnica de digestibilidad *in vitro*.

2.10.- ALIMENTACION DEL CERDO

El término "monogástrico" ha surgido por oposición al de "poligástrico" utilizado en el caso de los rumiantes. Por eso, al intentar definir dicho término, se suele recurrir a la comparación entre ambos grupos de animales. En los animales poligástricos, los alimentos, antes de ser objeto de la acción digestiva propia del animal, se ven considerablemente modificados por la flora del rumen. En los animales monogástricos, la flora se encuentra situada fundamentalmente en los últimos tramos del aparato digestivo (intestino grueso) y por ello juega un papel limitado al utilizar únicamente los residuos (indigestibles más endógenos) de la digestión. Por lo tanto, las

especies monogástricas se han agrupado tanto por poseer una característica morfológica común (un sólo estómago), como por tener una fisiología digestiva que los diferencia de los rumiantes, al atribuir un papel primordial en la utilización de los alimentos a la capacidad propia del animal y tan sólo un papel secundario a la microflora del aparato digestivo. La utilización de técnicas parecidas para manejar y alimentar a los animales, constituye otro punto de convergencia entre las especies monogástricas de interés zootécnico; distribución de raciones completas y equilibradas obtenidas mediante mezclas de materia primas, explotaciones a cubierto y en grupos, racionamiento estricto durante algunos periodos de su vida productiva, etc.⁽⁴⁴⁾

Los animales deben obtener de sus alimentos todos los componentes que les permitan renovar su materia viva, aumento de peso (crecimiento, gestación) y sintetizar diferentes productos (leche, huevo). Las cantidades de elementos nutritivos asimilables que se requieren para realizar todas estas actividades definen las necesidades: de agua, energía, proteínas y aminoácidos indispensables, minerales y vitaminas. Estas necesidades varían en función del estado fisiológico de los animales y también en función de su estado sanitario.

La alimentación de los cerdos en América Central representa de un 70 a 80% de los costos totales de producción. Sin embargo, debido a una menor eficiencia en los sistemas de manejo y al efecto del medio ambiente, se necesita que esta alimentación sea lo más eficiente posible para que la explotación sea económicamente rentable. Esta situación nos obliga a buscar la mejor forma para alimentar los cerdos. En algunas áreas el precio del cerdo permite la utilización de dietas a base de granos y fuentes proteínicas, pero en otros lugares es necesario utilizar subproductos agroindustriales y residuos de cosechas que, por bajo precio en el mercado o por deficiencia en la calidad, no pueden utilizarse para la alimentación humana.

Para definir las características de los alimentos a suministrar, es preciso conocer tanto las necesidades de los animales como los factores que modifican los aportes alimenticios entre los que el nivel de consumo es el más importante y, por último los factores que modifican la digestibilidad y la utilización metabólica de los alimentos.

Los factores que influyen sobre el consumo voluntario son fundamentalmente los siguientes: ligados al alimento y los ligados al medio (como la temperatura) y químicos (hormonales).

2.10.1.- INFLUENCIA DEL ALIMENTO: ⁽⁴⁾

Los animales monogástricos ajustan, en la medida de lo posible, el consumo de alimento a sus necesidades energéticas. El aumento de la concentración energética del alimento supone por lo tanto una disminución de la ingestión y en consecuencia, la cantidad de energía metabolizable ingerida varía poco.

La forma de presentación del alimento puede jugar una cierta influencia sobre el consumo en algunas especies. La presentación más común de alimento balanceado para cerdos es en forma de harina; sin embargo éste tiene algunas desventajas como son el mayor desperdicio, la menor gustosidad, la mayor propensión a causar problemas de irritación en ojos y en aparato respiratorio, la tendencia a la segregación de algunos ingredientes durante el transporte y en el comedero. La granulación, en particular, aumenta el consumo de alimento (sobre todo si el nivel energético de la ración es bajo). La fabricación del alimento en forma de pastillas (pelets) evita la mayoría de los problemas mencionados y además incrementa el valor nutritivo de algunos ingredientes debido al proceso térmico involucrado, sin embargo, el precio del producto así procesado es mayor. Algunos de los problemas pueden resolverse proporcionando el alimento molido en forma de pasta, la cual se prepara simplemente mezclando el producto con partes iguales de agua; las desventajas de éste sistema son que se incrementa el costo por concepto de mano de obra y que los sobrantes deben ser desechados diariamente para evitar problemas de fermentación. Por último, la ingestión de alimento se ve reducida por la presencia de sustancias poco apetecidos o incluso tóxicas. Los fenómenos de inapetencia son frecuentes en los cerdos.

2.10.2.- INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA AMBIENTE: ⁽⁴⁾

La elevación de la temperatura supone una reducción en la ingestión de alimento. Normalmente, la disminución de la ingestión de energía es poco más acentuada que la disminución de las necesidades energéticas; el animal se encuentra, por tanto en balance de energía cada vez menos positivo a medida que la temperatura aumenta, lo que se traduce en una reducción de su crecimiento. Por encima de la temperatura de neutralidad térmica el apetito decrece rápidamente y el animal se encuentra en una situación de déficit alimenticio cada vez más acentuado. Este déficit constituye una de las causas de la disminución de los rendimientos en climas cálidos. Para remediar

esta situación, al menos parcialmente, se puede incrementar la concentración energética de la ración, aunado a un cambio en las prácticas de alimentación.

2.10.3.- RACIONAMIENTO: ""

Para el cerdo en engorda y la cerda en gestación, la ingestión diaria de alimento puede limitarse a un nivel predeterminado e inferior al del consumo a voluntad. El racionamiento permite controlar el engrasamiento, mejorar la fertilidad y con frecuencia la salud de los animales; también permite ajustar mejor el resto de los componentes de la ración para cubrir exactamente las necesidades y supone, por lo tanto, un ahorro económico. El racionamiento debe calcularse en función del peso del animal (o de su edad), de su tipo genético y de la temperatura ambiente.

El cerdo supera a todos los demás animales domésticos por la eficiencia con que transforma los alimentos en carne comestible, ya que necesita mucho menor cantidad de alimentos y de nutrimentos digestibles totales por cada unidad de aumento de peso vivo que otros animales domésticos. Rinde mayor porcentaje en canal, la proporción aprovechable de las canales resulta mayor y su carne es más rica en energía que otras.

Son animales muy prolíficos que no necesitan alojamiento costosos. Están especialmente adaptados para el consumo de alimentos que de otro modo se desperdiciarían como los subproductos de la industria lechera, los desperdicios de consumo humano y los residuos de la huerta.

Los cerdos se alimentan principalmente con granos y consumen relativamente poco forraje, a no ser que se mantengan en pastoreo. Además se desarrollan con mayor rapidez que el ganado vacuno o lanar y que los equinos. Las hembras paren sus crías a edad más temprana y su periodo de gestación es corto. Como consecuencia los cerdos sufren deficiencias de nutrimentos con mayor frecuencia que las otras especies. Por tanto, para obtener el mayor beneficio en la producción de carne de cerdo, es indispensable conocer sus necesidades nutricionales.

En la alimentación de los cerdos es tan importante la calidad de las proteínas como la cantidad, especialmente en los lechones y en las cerdas lactando.

Ninguno de los granos de cereales proporcionan proteína de buena calidad y las de maíz y los granos de sorgo parecen ser inferiores incluso a las del trigo, cebada y avena. Por otra

parte, la leche descremada u otros productos lácteos, la harina de pescado y de carne suministran proteínas que corrigen admirablemente las deficiencias de los granos de cereales.

Entre los alimentos proteínicos de origen vegetal que suministran proteínas de buena calidad se encuentra la harina de pasta de soya que haya sufrido un buen cocimiento con vapor en el proceso de extracción del aceite, la semilla de soya cocida, la harina de pasta de cacahuete y los cacahuates; y todas aquéllas pastas de oleaginosas. Cuando se emplean estos alimentos como único suplemento proteínico para cerdos de poca edad, no dan generalmente tan buenos resultados ni aumentos de peso tan rápidos como los alimentos proteínicos de origen animal o las mezclas que contienen subproductos de origen animal (a excepción de la soya).

Los pastos de buena calidad, como la alfalfa, el trébol y la colza, proporcionan una cantidad considerable de proteínas de buena calidad. Sobre un pasto excelente, obtienen aumentos de peso satisfactorios incluso los cerdos de poca edad, alimentados con una ración formada por maíz, una mezcla mineral adecuada y un suplemento proteínico, como la harina de pasta de linaza o los residuos de molinería. Si los alimentos proteínicos de origen animal escasean o alcanzan precios excesivamente altos, una combinación de harina de pasta de linaza y harinillas de trigo, o de harina de pasta de algodón, es mejor que cualquiera de estos alimentos proteínicos como suplemento único de la ración. (57)

A causa de su rápido crecimiento, los cerdos necesitan raciones con la proporción de óptima de proteína ideal/energía. Si no se tiene la precaución de cubrir tales necesidades, los aumentos de peso obtenidos serán lentos y costosos.

Los cerdos suelen alimentarse con una mezcla de grano molido y la cantidad adecuada de alimentos proteínicos. Por lo tanto, es conveniente, al preparar dichas mezclas, saber el porcentaje de proteínas totales (no de proteínas digeribles) que debe contener la mezcla de alimentos concentrados. En el cuadro No. 15 se muestran las cantidades de proteínas requeridas por los cerdos a las diferentes edades de producción.

CUADRO No.15 CANTIDADES DE PROTEINAS NECESARIAS⁽⁵⁷⁾

PESO DEL CERDO NO MANTENIDO EN PASTOREO (Kg.)	PORCENTAJE DE PROTEINA TOTAL (%)
Destete hasta 27.68	20-22
27.68 a 34.02	18-20
34.02 a 56.70	15-17
56.70 a 79.38	13-14
79.38	11-13

CERDAS REPRODUCTORAS	PORCENTAJE DE PROTEINA TOTAL (%)
CERDAS PRIMERIZAS EN GESTACIÓN	14-15
CERDAS ADULTAS EN GESTACION	13-14
CERDAS LACTANDO	14-15

Los cerdos poseen una capacidad notable para equilibrar por sí mismos su ración de proteínas cuando se les suministran maíz u otro grano pobre en proteínas y también cuando se les suministran ciertos suplementos proteínicos o mezclas de alimentos ricos en proteínas. En las primeras fases del desarrollo consumen la cantidad necesaria de alimentos proteínicos para equilibrar la ración, y después van reduciendo gradualmente la cantidad de los mismos a medida que van desarrollándose y sus necesidades de proteínas son menores. A veces los cerdos consumen algo más de suplemento proteínico del que necesitarían y en ocasiones pueden no comer tanto como debieran.

Los mecanismos que determinan el apetito y la saciedad, esto es el consumo voluntario, no son del todo conocidos, existiendo varias teorías al respecto. La regulación del consumo puede ser de dos tipos: a corto o a largo plazo. El primero se asocia con el control del inicio y el término de "comidas" individuales, mientras la segunda se refiere a correcciones en el consumo que efectúa el organismo en relación al gasto energético global.

En el caso de los animales monogástricos, las teorías más socorridas sobre el control del consumo voluntario son:

Glucostática, que es un mecanismo a corto plazo, regulado por un centro de la saciedad (en el lóbulo medio ventral del hipotálamo y cuya destrucción causa hiperfagia, aumento

de peso y obesidad); y un centro del apetito (que se encuentra en el hipotálamo lateral y cuya destrucción trae como consecuencia la afagia).

Lipostática, que es a largo plazo y que se basa en la masa de tejido adiposo como medio de control, a través de sus metabolitos, ácidos grasos libres, o glicerol circulantes.

Termostática, que sugiere que los animales ajustan su consumo para lograr mantener una temperatura corporal constante. En este caso, el control ocurre a nivel del sistema nervioso central, habiendo entonces receptores nerviosos del cambio de temperatura *posprandium* que tiene lugar en la piel y el hipotálamo. (*Posprandium* es un término se refiere a lo que ocurre después de la ingestión de un alimento, si se dice que el nivel de glucosa sanguínea *posprandium* es elevada, se refiere a un aumento en el azúcar en la sangre después de comer).

Hormonal, se basa en la observación de que la presencia de la hormona colecistoquinina en el fluido cerebro espinal parece tener relación con patrones de consumo-saciedad. Por otra parte, parece ser que existe un componente hepático portal de tipo hormonal, asociado al comportamiento alimenticio a través de la concentración del glucógeno hepático. Independientemente del mecanismo biológico que regule el control del consumo voluntario en los animales monogástricos, es aparente que la concentración energética tiene un efecto importante en el fenómeno. Por ejemplo, cuando la concentración de energía de la dieta se diluye o se reduce, el animal aumenta su consumo de alimento, realizando así un ajuste automático que le permite mantener constante su ingestión energética. Por el contrario, cuando la dieta se modifica de tal forma que se eleva su contenido energético, el animal reduce su consumo con objeto nuevamente de mantener su ingestión energética a un nivel constante. ⁽⁷⁰⁾

2.11.- NECESIDADES ALIMENTICIAS DE LOS CERDOS:

La principal necesidad de los animales es la de cubrir sus gastos energéticos ya que después del agua, la privación de los componentes energéticos es la que afecta más rápidamente a la salud del animal y su supervivencia. Las necesidades energéticas son también las más sensibles a las condiciones del medio.

Las necesidades expresadas como cantidades aportadas diariamente dependen pues, en parte, del tamaño del animal, pero sobre todo de su producción y por lo tanto de su potencial genético y son prácticamente independientes de las condiciones bioclimáticas de explotación (temperatura).

Las necesidades nutritivas de los cerdos pueden expresarse en cantidades por día, en porcentaje de alimento o en relación con el aporte de energía.

El período de crecimiento del cerdo al consumo puede dividirse en cuatro fases teniendo en cuenta el peso vivo del animal como los distintos alojamientos que ocupa.

1) FASE DE LACTANCIA: (Lechones 1ª edad) que comprende desde los 21-40 días de edad (o de 21 a 28 días en caso de destete precoz). El peso vivo se incrementa durante este periodo desde los 5-10 kg.

2) FASE DE INICIACIÓN: (Lechones 2ª edad) que abarca desde los 40 días de edad (o desde los 28, si el destete es precoz) hasta la entrada en la engorda. El peso vivo varía desde los 10 hasta los 25 kg.

3) FASE DE ENGORDA: de 25 a 60 kg. de peso vivo.

4) FASE DE FINALIZACION: desde los 60 kg. hasta el peso al sacrificio, generalmente a los 90-100 kg.

CUADRO No.16 APORTES RECOMENDADOS DE ENERGIA, PROTEINA, AMINOACIDOS Y MINERALES PARA CERDOS EN CRECIMIENTO.⁽⁴⁴⁾

ESTADO FISIOLÓGICO	LECHÓN		CERDO EN ENGORDA	
	1ª EDAD	2ª EDAD	ENGORDA	FINALIZACIÓN
INTERVALO DE PESO VIVO (Kg.)	5-10	10-25	25-60	60-100
INTERVALO DE EDAD (d)	21-40	40-70	70-130	130-180
MATERIA SECA (%)	90	90	87	87
CONCENTRACION ENERGETICA				
INTERVALO DE VARIACION (Mcal/Kg.)	3.300-3.600	3.300-3.600	3.000-3.400	3.000-3.400
CONCENTRACION MEDIA	3.500	3.500	3.200	3.200
PROTEINA BRUTA (% ALIMENTO)				
CONTENIDO INDICATIVO	22	19	17	15
CONTENIDO MINIMO EN PROTEINA EQUILIBRADA	20	18	15	13
AMINOACIDOS (% ALIMENTO)				
LISINA	1.40	1.10	0.80	0.70
METIONINA+CISTEINA	0.80	0.65	0.50	0.42
TRIPTOFANO	0.25	0.20	0.15	0.13
TREONINA	0.80	0.65	0.50	0.42
LEUCINA	1.00	0.80	0.60	0.50
ISOLEUCINA	0.80	0.65	0.50	0.42
VALINA	0.90	0.70	0.55	0.50
HISTIDINA	0.34	0.29	0.20	0.18
ARGININA	0.36	0.32	0.25	0.20
FENILALANINA+TIROSINA	1.30	1.00	0.80	0.70
MINERALES (% ALIMENTO)				
CALCIO	1.30	1.05	0.95	0.85
FOSFORO	0.90	0.75	0.60	0.50

Los futuros reproductores se pueden agrupar en cuatro categorías:

1) Hembras jóvenes hasta el inicio de su vida útil como reproductoras (110-130 kg. de peso vivo): Los aportes energéticos recomendados para las hembras jóvenes destinadas a la reproducción son muy semejantes a las de cerdos en engorda. Como para estos últimos, el nivel de alimentación elegido debe permitir un desarrollo óptimo del tejido magro y limitar los depósitos grasos; este objetivo puede lograrse por medio de un racionamiento progresivo, que alcance las 9.000 - 9.500 kcal ED/día a los 100 kg. de peso, alrededor de los 180 días de edad. Al aproximarse la madurez sexual (200-220 días de edad, entre 110-130 kg. peso) las hembras deben someterse a un racionamiento riguroso. Para ello, el nivel aplicado a 100 kg. se rebaja progresivamente a 7.500-8.000 kcal ED/día. En lo que se refiere a los aportes de proteína y aminoácidos son los mismos para los animales en engorda. Los aportes de minerales recomendados son de 9 g. de calcio y 6 g. de fósforo/kg. de alimento para una cerda que consume alrededor de 2.5 kg. alimento/día.

2) Verracos jóvenes y adultos: Como no existen normas alimenticias para aplicar a éste grupo, a los verracos jóvenes destinados a la reproducción se les aplican las mismas recomendaciones para los aportes de energía, proteína y aminoácidos que a los animales en engorda. Para los verracos adultos (2 años de edad) el aporte energético óptimo debe cubrir los gastos de conservación más los ligados al ejercicio físico, a las condiciones climáticas y a una frecuencia elevada de salto. El nivel de este aporte debe cifrarse en 7.500-8.000 kcal ED/día, es decir, de 2.5 a 2.7 kg. alimento de 3.000 kcal ED/kg. Las recomendaciones para el aporte de proteína y aminoácidos son los mismos que para la cerda en gestación. De 7 g. de calcio y 5 g. de fósforo por kg. alimento son suficientes para el verraco.

3) Cerdas en gestación: nulíparas y múltiparas.

4) Cerdas en lactación: primíparas y múltiparas

CUADRO No. 17 APORTES RECOMENDADOS DE ENERGIA, PROTEINA, AMINOACIDOS Y MINERALES PARA LAS CERDAS REPRODUCTIVAS.⁽⁴⁴⁾

ESTADO FISIOLÓGICO	CERDAS EN GESTACION	CERDAS EN LACTACION
CONCENTRACION ENERGETICA		
INTERVALO DE VARIACION	2.800-3.300	3.00-3.300
CONCENTRACION MEDIA (Mcal/Kg.)	3.300	3.100
PROTEINA BRUTA (% ALIMENTO)		
CONTENIDO INDICATIVO	12	14
AMINOACIDOS (% ALIMENTO)		
LISINA	0.40	0.60
METIONINA+CISTEINA	0.27	0.33
TRIPTOFANO	0.07	0.12
TREONINA	0.34	0.42
LEUCINA	0.30	0.69
ISOLEUCINA	0.34	0.42
VALINA	0.43	0.42
HISTIDINA	0.12	0.23
ARGININA	-----	0.40
FENILALANINA+TIROSINA	0.31	0.69
MINERALES (% ALIMENTO)		
CALCIO	1.00	0.80
FOSFORO	0.55	0.55
CANTIDAD DE ALIMENTO (kg./día)	2.5	4.5-5.5
APORTE ENERGETICO (kcal ED/día)	7.500	14.000-17.000

2.12.- TIPOS DE ALIMENTOS MAS COMUNMENTE UTILIZADOS EN LAS DIFERENTES ESPECIES DE ANIMALES DOMESTICOS ⁽⁷⁹⁾

En el estudio de la nutrición y alimentación de los animales, es necesario interesarse por los alimentos debido a que estas sustancias son la materia prima fundamental para la producción animal.

Se utiliza una variedad muy grande de alimentos para la alimentación de animales en todo el mundo; esta variedad de alimentos en un lugar específico dependerá de los productos locales que se cultivan y cosechan en esa zona y también de la clase y de la especie de los animales relacionados. Se han clasificado más de 2,000 productos diferentes hasta cierto punto como alimentos para los animales, sin contar las distintas variedades que existen de los forrajes y granos. Generalmente los productos que se proporcionan a los animales son aquellos que no consumen los humanos o los que hay en exceso en una localidad o país dados. Otros factores que afectan el valor de un alimento incluyen la aceptabilidad de éste por el animal, la capacidad de una especie o clase de animal dada para utilizar un producto dado, el contenido de nutrimentos y las propiedades de manipulación y de molienda del producto.

Existen numerosos alimentos adecuados para la alimentación de los cerdos. Debido a su estructura anátomo-fisiológica, los cerdos deben ser alimentados esencialmente por medio de concentrados.

2.12.1.- CLASIFICACION DE LOS ALIMENTOS ⁽¹⁴⁾

Se puede definir a un alimento como cualquier componente de una ración que tiene alguna función útil. La mayoría de los alimentos son una fuente de uno o más nutrimentos, no existe ningún alimento que contenga todos los nutrimentos en cantidades y proporciones suficientes para satisfacer las necesidades de las diversas etapas en la vida y producción porcinas; los múltiples ingredientes que forman un alimento pueden incluirse para suministrar volumen, disminuir la oxidación de los nutrimentos, emulsificar las grasas, proporcionar sabor, color u otro factor que se relaciona con la aceptabilidad, en vez de servir estrictamente como una fuente de nutrimentos. La clasificación usual de los alimentos es la siguiente:

FORRAJES DE FIBRA

- Pastos de corte, pastos de agostadero y plantas en general que se proporcionen verdes.
Plantas de pastoreo
En crecimiento
Picados en verde
Residuos de conservas y cultivos alimenticios

FORRAJES SECOS Y FORRAJES DE FIBRA

- Heno
Leguminosas
No leguminosas (principalmente pastos)
De cultivos de cereales
- Paja y granzas
- Piensos, rastrojos
- Otros productos con >18% de fibra cruda
Olotes de maíz
Cáscaras y vainas
Bagazo de la caña de azúcar
Cascarilla de la semilla de algodón

ENSILADOS

- Maíz
- Sorgo
- Pasto
- Pastos y leguminosas
- Leguminosas
- Diversos

CONCENTRADOS

- Granos de cereales
- Subproductos de la molienda (principalmente de los granos de los cereales)
- Melazas de diferentes clases
- Desperdicios del cribado de las semillas y de la molienda
- Pulpa de remolacha y de cítricos
- Grasas animales y vegetales
- Suero
- Diversos
Subproductos de cervecía
Desechos de las plantas procesadoras de alimentos
Frutas, vegetales y nueces de desecho
Residuos Orgánicos
Raíces y tubérculos
Desechos de las panaderías

CONCENTRADOS PROTEICOS

- Harinas de semillas oleaginosas (semillas de algodón, soya, linaza, cacahuete, etc.)
- Harinas de carne o de carne y hueso
- Harinas de pescado
- Harinas de subproductos aviaros
- Semillas (enteras de plantas
- Subproductos de la molienda
- Granos desecados de destilerías y cervecerías
- Leguminosas deshidratadas
- Fuentes unicelulares (bacterias, levaduras, algas)
- Nitrógeno no proteico (urea, etc.)
- Abonos secos

COMPLEMENTOS MINERALES/COMPLEMENTOS VITAMINICOS/ADITIVOS NO NUTRITIVOS

- Antibióticos
- Antioxidantes
- Amortiguadores
- Colorantes y saborizantes
- Agentes emulsificantes
- Enzimas
- Hormonas
- Medicinas
- Diversos

2.13.- RESIDUOS ORGANICOS

La porcicultura en México es una actividad de gran dinamismo y una de las más importantes fuentes de abastecimiento de carne. La economía mundial ha exigido hoy más que nunca el aprovechamiento eficaz de los recursos, por ello es demandante la búsqueda de soluciones alimentarias para la producción porcina que no compitan con los alimentos dedicados al consumo humano y ha conducido a la utilización de alimentos no convencionales, potenciales o alternativos. (31)(38)

Esta situación nos obliga a buscar la mejor forma para alimentar a los cerdos. A lo largo de este trabajo se ha mencionado que el cerdo es un animal omnívoro, que puede aprovechar la mayoría de los alimentos que se le proporcionen. Tiene un gran poder digestivo y de asimilación, y de acuerdo con la dieta que se le suministre, así será su rapidez en el aumento de

peso, y su economía en la conversión de alimento. Para que los rendimientos del cerdo sean económicos es necesario mandarlos al mercado con un peso promedio de 95-100 kg. que deben obtenerse a una edad no mayor de 5.5 a 6 meses; para lograrlo, el cerdo necesita ser bien alimentado, con raciones balanceadas que reúnan los requerimientos nutritivos necesarios. Por lo tanto, su alimentación debe ser lo más económica posible, aprovechando los alimentos que en cada región o lugar se produzcan. De esta manera es importante la utilización de los subproductos de acuerdo con su disponibilidad geográfica, pues de lo contrario se requeriría de transportación lo que elevaría el costo de los mismos por el consumo de combustible y pago de salarios. (37) (60)

En algunas áreas es posible la utilización de dietas a base de granos y concentrados proteínicos, pero en otros lugares es necesario utilizar subproductos agroindustriales y residuos de cosecha que, por su precio en el mercado o por deficiencia en la calidad, no pueden utilizarse para la alimentación humana. (35) (38)

Los alimentos no convencionales han sido definidos así, por ser alimentos que tradicionalmente no son usados en la alimentación animal, pero pueden o no ser usados normalmente en raciones comerciales producidas para alimentar ganado. (22)

A nivel mundial es cada vez más importante el interés por la búsqueda y aplicación de nuevas alternativas de alimentación, entre las cuales encontramos: 1) Productos de actividades primarias (incluye plantas o sus partes y cultivos subexplotados), 2) Proteína unicelular (algas, bacterias, hongos y levaduras o productos elaborados con ellos), 3) Subproductos de actividades primarias (excedentes de actividades agrícolas, pecuarias, forestales y pesqueras), 4) Subproductos agroindustriales (subproductos de la industria cárnica, láctea, alcohólica, de la caña de azúcar, cereales y granos), 5) Desperdicios del consumo humano o animal, 6) Alimentos varios. (37) (51)

Es importante citar que se llaman alimentos **suculentos**, aquellos que se dan en estado verde y poseen una humedad elevada en su constitución (remolacha, zanahorias, zacates verdes y leguminosas verdes, etc.). Son alimentos de **lastre** o relleno los que tienen humedad baja, poca o casi nada de proteína, pero por el contrario poseen gran cantidad de fibra cruda, que sólo pueden aprovechar de manera más eficiente, los rumiantes. Se llaman alimentos **concentrados** aquellos que tienen poco volumen, su humedad es muy baja, poca cantidad de fibra, pero son abundantes en proteínas e hidratos de carbono, como es el caso de los granos. (37)

Por lo anterior, lo más conveniente en la alimentación porcina, es mezclar diferentes alimentos entre sí, para suplir las deficiencias de algunos componentes, con la abundancia o exceso de los otros, para complementarlos entre sí.

Los residuos orgánicos son un subproducto muy heterogéneo provienen de la alimentación humana, de origen casero o institucional, los cuales son conocidos popularmente como “ESCAMOCHA”, en Cuba son nombrados como “SANCOCHO”, y en el Sureste mexicano como “LADAZA” O “LAVAZA”. (15)

En México, el uso empírico de la escamocha se remonta a los inicios de la porcicultura en la Colonia; como su principal fuente de nutrición. Con la industrialización del sector, esta práctica alimentaria fue relegada al nivel de autosuficiencia, del cual no ha trascendido debido, entre otros factores, a la falta de conocimiento para su empleo adecuado. (17)

Dentro de los alimentos concentrados tenemos: los de origen animal y los de origen vegetal. De acuerdo a la composición de los residuos orgánicos (ESCAMOCHA) se puede decir que es un **CONCENTRADO MIXTO**; ya que se encuentra constituido por residuos de alimentos de los dos grupos, como por ejemplo: granos, semillas y frutos, subproductos de los mismos que quedan de su aprovechamiento industrial; pastas oleaginosas, grasas y aceites; raíces y tubérculos; verduras y frutas; derivados lácteos, derivados cárnicos; por mencionar algunos de los más importantes.

La utilización de este desecho no sólo contribuye a ampliar las posibilidades de alimentos para el cerdo, sino que ayuda a eliminar un problema de contaminación en los centros urbanos. La idea de la utilización de estos residuos en gran escala ha sido desarrollada en distintos países a partir de lo que al parecer fueron los estudios iniciales sobre el potencial de su utilización en la alimentación porcina (Williams y Cunningham, 1918; Hunter, 1919; Ashbrook y Wilson, 1923; Hultz y Reeve, 1923). (15)

Se ha observado que la escamocha al ser usada como alimento no convencional o potencial en la alimentación porcina posee ciertas limitantes, las cuales, han creado un panorama de no ser un recurso satisfactorio de alimentación. La más importante es la gran variabilidad en su composición química; con cierta constancia en relación a su origen. Lo anterior se ha demostrado en los trabajos de investigación realizados por Woodman y Evans, 1942; Engel *et al.* 1957; Summers *et al.* 1980; referidos en CIDA; Ortiz, 1984 Figueroa; 1989 y Grande 1995.

Las características físico-químicas de los residuos deben posibilitar su mezcla con otros nutrimentos, de forma que no originen efectos indeseables, como precipitación, coagulación y otros que dificulten su utilización y manejo. Puede afirmarse que la escamocha es una fuente aceptable de proteína y energía para el cerdo, sin embargo se plantea que el gran contenido de humedad puede disminuir la ganancia de peso en los animales, ya que existe una dilución de los nutrimentos; así mismo es un factor muy importante de estabilidad. Por otra parte es fundamental tomar en cuenta la digestibilidad de los nutrimentos contenidos en la misma. (19), (38) Se han realizado varios trabajos sobre digestibilidad aparente en los cuales existe cierta inconsistencia en los resultados; de cualquier forma, la más baja digestibilidad de materia seca encontrada fue ligeramente inferior a la de los piensos comerciales. (51)

Un punto muy importante a considerar es la inestabilidad de la escamocha, por lo que el aspecto sanitario y epidemiológico no se puede pasar por alto, ya que estos subproductos son de fácil descomposición y por lo tanto, constituyen agentes contaminantes del ambiente. Sin embargo, el uso adecuado del recurso en la alimentación porcina no tiene que ver con la generación de enfermedades en el hombre o en los animales. Algunas de las medidas tomadas para disminuir el contenido de humedad y eliminar el factor sanitario, han sido el secado, empastillado (peletización), fermentación (ensilaje) y/o la suplementación. (15), (60)

En relación a esto, un manejo adecuado significa obtener el residuo de una fuente confiable establecida, llevando a cabo una recolección sistemática; utilizar sólo aquel producto recién generado; realizar una manipulación higiénica, así como llevar un manejo sanitario acorde con los animales. (35)(51)

Por ejemplo, en Cuba los desechos de la alimentación humana, agrícolas, industriales y de la pesca, se integran industrialmente en un producto alimenticio heterogéneo al cual se le denomina *pienso líquido procesado o desperdicios procesados, (Processed swill)*. (35) Con este fin, los especialistas cubanos diseñaron industrias con un grado mínimo de complejidad, que fueron instaladas anexas a las granjas porcinas. En dichas plantas, la materia prima es transportada y depositada en tolvas, en las cuales es posible almacenar todos los desechos acopiados en un día. El primer aspecto en el proceso es el paso de los desperdicios por una estera en la que es posible extraer materiales indeseables que puedan acompañar la materia prima. El material es triturado en un molino de martillo hasta un tamaño de partícula de 80 mm.

Posteriormente estos desperdicios sufren un proceso de cocción en autoclave a 121°C / 1.0-1.5 atms. de presión durante, aproximadamente, 45 minutos, por lo que se presume quedan esterilizados. Los desperdicios así procesados se mezclan entonces con miel final de caña en proporciones controladas en un tanque homogeneizado. La composición química de estos desperdicios procesados nos indica un contenido de materia seca entre 16 y 18 %; proteína bruta 21-26% y cenizas de un 10%, así como aproximadamente 4.806 Mcal/kg. de MS. (15)

Por medio de los tratamientos térmicos y mecánicos a los que son sometidos los residuos orgánicos, tiene el fin de aumentar la digestibilidad y mejorar la palatabilidad. Lo anterior se ha constatado en los trabajos de Kornegay et al. 1965, Barth et al. 1966, Kornegay et al. 1968, Bard et al. 1973, Batterham et al. 1980, Ortiz 1985, Noblet et al. 1993, Smits et al. 1994 y Van Barneveled 1994.

Uno de los puntos que no se pueden pasar por alto, es la cantidad y calidad de los desechos generados en las grandes urbes. Para empezar no se tiene una cultura sobre la separación de los residuos generados, sobretodo a nivel casero y con ello la calidad de los mismos es baja. Los volúmenes más grandes de residuos generados son de instituciones, restaurantes y hoteles. Se tienen cifras de que se generan 402 g. de basura diariamente, y tan sólo en el sur del D.F. el desperdicio orgánico fue cercano a las 2500 ton. diarias, con las cuales se podrían alimentar a más de 8 mil cerdos. Estrada (1985), señala que en toda la zona metropolitana se arrojan a la basura 235 ton de alimentos frescos, formados principalmente por 100 ton. de tortillas, 30 ton. de arroz y 70 ton. de pan entre otros, que según el autor podrían alimentar a 30 mil cerdos. (31)

2.14.- PROCESOS Y SUS EFECTOS EN EL VALOR NUTRICIONAL ⁽¹⁾

Los distintos alimentos, si bien pueden ser consumidos por los cerdos sin mayores inconvenientes, es pertinente someterlos a ciertas preparaciones fisicomecánicas, químicas y a veces incluso biológicas, para facilitar su digestión y un mayor aprovechamiento por el organismo.

El lavado, troceado y picado, son procesos fisico-mecánicos, es decir, el alimento ha cambiado nada más su estado físico, no sucede lo mismo en las preparaciones químico biológicas, en las cuales los alimentos cambian o transforman algunos de sus componentes y modifican a veces considerablemente su sabor y su riqueza en un sentido nutricional.

No están separados unos de otros ya que a veces previamente han sufrido cambios físicos para que puedan intervenir los químico-biológicos.

Durante este trabajo se llevaron a cabo los siguientes procesos:

2.14.1.- **REDUCCION DE TAMAÑO**: Durante el procesamiento de alimentos suele ser necesario desmenuzar los sólidos mediante la aplicación de fuerzas mecánicas. Los objetivos de esta operación son los siguientes: Facilitar la extracción de un constituyente deseado, por una necesidad específica del producto, como sucede, por ejemplo, en la elaboración del azúcar para helados, en la preparación de especias, etc.; para aumentar el área superficial de los sólidos con la finalidad de reducir el tiempo de secado, facilitar el mezclado y la homogeneización de las partículas, especialmente en las de tamaño más pequeño. En general se distinguen tres clases de fuerzas:

FUERZA	PRINCIPIO	APARATO
Compresión	Compresión (cascanueces)	Rodillos triturados
Impacto	Impacto (martillo)	Molino de martillos
Cizalla	Frotamiento (piedra de molino)	Molino de discos

Las fuerzas de compresión se utilizan para la ruptura gruesa de productos duros. Las de impacto se pueden considerar como fuerzas para uso general, empleándose para la molienda fina, media y gruesa de una gran variedad de productos alimenticios y las de frotamiento o cizalla para la trituración de sustancias blandas no abrasivas en los tamaños más pequeños (molienda fina). El término trituración (crushing) se aplica generalmente al desmenuzamiento de materiales groseros hasta tamaños del orden de 3 mm. (FUERZAS DE COMPRESION).

Molienda, en cambio se emplea al referirse a la obtención de productos en polvo. (FUERZAS DE CIZALLA).

2.14.2.- MEZCLADO: Mezclar se puede definir como una operación, durante la cual se efectúa una combinación uniforme de dos o más componentes. Su objetivo es alcanzar una distribución uniforme de los componentes mediante un flujo. El flujo se genera por procedimientos mecánicos. El grado de uniformidad alcanzado varía ampliamente. La eficacia de este proceso depende de la energía empleada para generar el flujo, así como del tipo de carga, ya que esta puede estar constituida por líquidos poco viscosos, pastas muy viscosas o sólidos pulvulentos. Los tipos de mezcladores más importantes son los siguientes:

Tipo I. Depósito estacionario que contiene un agitador móvil, o un agitador de aspas o paletas. Se utilizan en la mezcla de líquidos poco viscosos, suspensiones de sólidos y líquidos de flujo libre y en la dispersión de gases en líquidos.

Tipo II. Depósito estacionario que contiene aspas, cuchillas o tornillos móviles. Son para mezclar productos muy consistentes, líquidos viscosos, masa, pastas, grasas, etc.

Tipo III. Un depósito móvil con aspas, paletas, cuchillas, etc., móviles o estacionarias. Se emplean para homogeneizar productos de gran consistencia: masa, pastas y materiales plásticos. (Nuestro objetivo fue obtener una mezcla uniforme en un mezclador del tipo (3)).

2.14.3.- TRATAMIENTO TERMICO: La industrialización de los alimentos incluye dos clases amplias de conversiones: aquellas que verifican principalmente cambios físicos y aquellas en las que los cambios químicos irreversibles son la finalidad principal de la actividad. Las conversiones físicas, como la reducción de tamaño y la centrifugación se conocen normalmente por "operaciones básicas". Las conversiones en las que el principal efecto es de naturaleza química se conocen por "procesos básicos". Los procesos básicos de "tratamiento térmico", incluyen el horneado, la ebullición, la fritura, el asado, la deshidratación y otras actividades de conversión en las que la aplicación de calor tiene por finalidad primordial producir cambios químicos en los alimentos, lo que conduce a que también se produzcan cambios físicos.

Los alimentos se calientan por métodos directos e indirectos. En el calentamiento indirecto se aplica calor al alimento por medio de cambiadores de calor y los productos de la combustión se aíslan del alimento. En los sistemas directos la energía térmica se aplica

directamente al alimento sin la intervención de cambiadores de calor, estando el alimento en contacto directo con los productos de la combustión. Los métodos de aplicación de calor se pueden clasificar de la siguiente manera:

(1) Calefacción indirecta:

- (a) Vapores o gases como el vapor de agua o el aire.
- (b) Líquidos como el agua o cambiadores de calor de líquidos orgánicos.
- (c) Electricidad, en sistemas con resistencia o calor radiante.

(2) Calefacción directa:

- (a) Usando gas, aceite o combustible sólido.
- (b) Utilizando energía infrarroja.
- (c) Usando electricidad por métodos dieléctricos o microondas.

En los secadores de aire caliente, este actúa como medio de transmisión, tanto de calor como de materia. El aire es un fluido de transmisión de calor pobre, porque tiene un calor específico y una conductividad térmica pequeñas; por lo que se habla de un proceso por convección forzada.

2.14.4.- DESHIDRATACION: Los términos “deshidratación de alimentos” y “deseccación de alimentos” se emplea para referirse a la operación unitaria en la que se elimina por evaporación o sublimación casi toda el agua presente en los alimentos, mediante la aplicación de calor bajo condiciones controladas. La deshidratación determina una reducción del peso y normalmente también, del volumen por unidad de valor alimenticio e incrementa la vida útil de los productos desecados en comparación con los correspondientes alimentos frescos.

Los métodos empleados en la desecación pueden clasificarse convenientemente de la siguiente manera:

- (1) ***Deseccación con aire caliente:*** El alimento se pone en contacto con una corriente de aire caliente. El calor se aporta al producto principalmente por convección.
- (2) ***Deseccación por contacto directo con una superficie caliente:*** El calor se aporta al producto principalmente por conducción.
- (3) ***Deseccación mediante el aporte de energía de una fuente radiante, de microondas o dieléctrica.***

(4) **Liofilización:** El agua de los alimentos se congela y seguidamente se sublima a vapor, generalmente por aporte de calor en condiciones de presión muy baja.

En este proceso es muy importante tomar en cuenta el contenido de humedad, ya que expresarse sobre la base del peso húmedo de un producto, como la masa de agua por unidad de masa de producto húmedo, o sobre la base de peso seco, masa de agua por unidad de masa de los componentes sólidos desecados. En general cuando un producto orgánico se mantiene en contacto con aire a temperatura y humedad constantes, hasta que se alcance el equilibrio, el producto adquiere un contenido de humedad definido. A este contenido de humedad se le denomina como **contenido en humedad de equilibrio** del producto bajo las condiciones especificadas. Es posible medir el contenido de humedad de equilibrio del producto bajo diferentes condiciones de temperatura y humedad y de esta forma construir curvas que relacionan el contenido de humedad del producto y la humedad de la atmósfera con la que se encuentra en equilibrio, a diferentes temperaturas. Estas gráficas se denominan *isotermas de sorción*. El conocimiento de las características de sorción de los alimentos que se van a desecar es importante ya que, el contenido de humedad de equilibrio es el contenido en humedad más bajo que puede alcanzarse en unas condiciones dadas de temperatura y humedad; así mismo son importantes para el estudio de la estabilidad durante el almacenamiento de los alimentos desecados.

Al desecar un sólido húmedo con aire caliente, el aire aporta el calor sensible y el calor latente de evaporación de la humedad y también actúa como gas portador para eliminar el vapor de agua que se forma en la vecindad de la superficie de evaporación.

Entre los componentes de los alimentos figuran proteínas, grasas, hidratos de carbono, vitaminas, enzimas y sales inorgánicas y muchos de estos componentes están fuertemente hidratados. Por lo tanto, el contenido de humedad de un alimento se refiere a toda el agua en forma global. Esto ha llevado a que se empleen términos como "agua ligada" y "agua libre", para referirse a la forma y el estado energético que dicho líquido guarda en un alimento. Aunque no existe una definición precisa, se considera que el agua ligada es aquella que no congela a -20°C (condiciones normales de congelación) y el agua libre es la que se volatiliza fácilmente, se pierde en el calentamiento, se congela primero y es la principal responsable de la actividad acuosa.

El contenido de agua en un alimento es el responsable en gran medida de las reacciones químicas, enzimáticas y microbiológicas, que son las tres principales causas del

deterioro de un producto, del cual se hablará más adelante. Por lo tanto, el principal objetivo del secado (deshidratación), es la disminución del contenido de humedad de un alimento o producto, con lo que se consigue retardar su deterioro y aumentar el tiempo de vida de anaquel. (5)

2.14.5.- PELETIZADO (EMPASTILLADO): La “peletización” (empastillado) es la aglomeración de los alimentos por presión. La mezcla es caramelizada y presionada por una matriz. A medida que sale de la matriz se corta longitudinalmente, formando cilindros o cubos de diferentes tamaños. En este proceso se pueden agregar mezclas minerales y vitamínicas que incrementan o modifican los valores energéticos y proteínicos de las raciones. Usualmente se le adiciona vapor antes del empastillado, pero no es una regla. Cuando el contenido de grasa en el alimento es alta, los pelets (pastillas) tienden a separarse, pues la grasa actúa como lubricante y no como aglutinante. (59)

Los alimentos así procesados tienen las siguientes características: mayor velocidad de tránsito por el tubo digestivo; la digestibilidad de la fracción energética es mayor debido a que el proceso de calor altera los componentes del alimento como la proteína, almidones, grasas y destruye parte de la fibra cruda y se inactivan por calor algunos factores antinutricionales, proteínas, glucósidos e inhibidores del crecimiento. Por otro lado el empastillado puede alterar el valor nutritivo, además que la presión y el calor generado durante el proceso, tiende a mejorar el potencial de la energía metabolizable. (52) (59)

VENTAJAS DEL PELETIZADO:

- 1.- Incrementar el consumo del alimento.
- 2.- Mejorar la eficiencia de la ración.
- 3.- Reducir el desperdicio de alimento.
- 4.- Los pelets son más fáciles de abastecer que el polvo.
- 5.- Ciertas vitaminas liposolubles se oxidan más lentamente.
- 6.- El proceso destruye algunas bacterias y virus.
- 7.- Concentrar los nutrimentos.

DESVENTAJAS DEL PELETIZADO

- 1.- Se incrementa el costo de los alimentos respecto a los presentados en polvo
- 2.- Pueden desintegrarse y perderse sus componentes.
- 3.- Incrementan el consumo de agua, y por lo tanto, las evacuaciones suelen ser más húmedas.

2.15.- CAMBIOS QUIMICOS OBSERVADOS DURANTE EL PROCESAMIENTO DE ALIMENTOS

2.15.1.- ACTIVIDAD ACUOSA (A_w): La actividad acuosa es la porción de agua disponible de un alimento, que propicia diversos procesos químicos, físicos y microbiológicos, tanto favorables como indeseables. La A_w junto con la temperatura, el pH y el oxígeno son los factores que más influyen en la estabilidad de los productos alimenticios. Dependiendo del contenido de agua de un alimento son los tipos de reacciones químicas y enzimáticas que ocurren (oscurecimiento, rancidez, etc.), así como el crecimiento de hongos, levaduras y bacterias. Es por esto que muchos métodos de conservación de alimentos se basan precisamente en la reducción y el control de la actividad, como es el caso de los productos deshidratados y concentrados. La influencia de A_w se ha demostrado en la pérdida de la lisina disponible, en el oscurecimiento enzimático, en la degradación de vitaminas, en la activación del inhibidor de tripsina y en la destrucción de pigmentos.⁽⁵⁾

2.15.2.- REACCIONES QUIMICAS DE LOS HIDRATOS DE CARBONO (MONOSACARIDOS): Los cambios químicos a los que están sujetos se relacionan con el grupo aldehído o cetona y los hidroxilos que presentan; se ven afectados por los ácidos, los álcalis, las altas temperaturas y los agentes oxidantes y reductores, que provocan su isomerización, enolización, deshidratación, ciclización, oxidación, reducción, etc. Entre las reacciones más importantes se encuentran las que provocan un oscurecimiento o empardeamiento. Las altas temperaturas aceleran considerablemente todos los cambios que le suceden a los monosacáridos en condiciones tanto ácidas como alcalinas, pero a pH neutro catalizan las reacciones de caramelización y de oscurecimiento no enzimático. En general, la isomerización de los azúcares en condiciones ácidas es muy lenta, sin embargo, las reacciones de deshidratación son más rápidas y se aceleran considerablemente a altas temperaturas. Durante la fabricación y almacenamiento, muchos alimentos desarrollan una coloración que en ciertos casos es deseable por que se mejoran las propiedades sensoriales, mientras que en otros las deterioran. Los mecanismos llamados de oscurecimiento, encafecimiento o empardeamiento, que sintetizan compuestos de colores que van desde un ligero amarillo hasta el café oscuro, se han clasificado como reacciones enzimáticas y no enzimáticas. En la primera se incluye la reacción catalizada por la polifenol oxidasa y en las

segundas se incluye la caramelización, la reacción de Maillard y la degradación del ácido ascórbico. En el caso de la reacción enzimática y la del ác. ascórbico son las únicas transformaciones que tienen naturaleza oxidativa, por lo que la presencia del oxígeno es necesaria para que se lleven a cabo.⁽⁵⁾

2.15.2.1.- CARAMELIZACION: Esta reacción de oscurecimiento, también llamada pirólisis, cuando los azúcares se calientan por encima de su punto de fusión; se efectúa a pH ácidos como alcalinos y se acelera con la adición de ác. carboxílicos y de algunas sales; se presenta en los tratamientos térmicos drásticos. Se llevan a cabo transformaciones por isomerización y deshidratación de los hidratos de carbono. La deshidratación genera furfural y sus derivados insaturados que se polimerizan consigo mismos o con otras sustancias semejantes para formar las moléculas de pigmentos llamadas melanoidinas. También se sintetizan una serie de compuestos como: furanos, furanonas, lactonas, pironas, aldehídos, cetonas, ácidos, ésteres y pirazinas, de bajo peso molecular, muy olorosas, así como otras con dobles ligaduras conjugadas que absorben la energía radiante y por lo tanto producen colores.

2.15.2.2.- REACCION DE MAILLARD⁽⁶⁾: De esta manera se designa a un grupo muy complejo de transformaciones que traen consigo la producción de melanoidinas coloreadas que van desde amarillo claro hasta café oscuro, o incluso negro; para que se lleven a cabo se requiere de un azúcar reductor (cetosa o aldosa) y un grupo amino libre proveniente de un aminoácido o de una proteína, (generalmente lisina). Aunque esta reacción se puede efectuar en diferentes condiciones; está influenciada por los siguientes parámetros:

a) A pH alcalino se incrementa la velocidad y alcanza un máximo a pH 6.0, y por el contrario, el mecanismo se inhibe en condiciones muy ácidas que normalmente no se encuentran en los alimentos.

b) Las temperaturas elevadas también la aceleran, pero debido a que su energía de activación es baja, también se observa hasta en condiciones de refrigeración. En términos generales, la energía de activación (E_a) es del orden de 16 a 30 kcal/mol, y el valor de su coeficiente de temperatura (Q_{10}) es de 2 a 3 (en el intervalo de 0 a 70°C); es decir, por cada 10°C de aumento, la velocidad se incrementa de dos a tres veces.

c) Otro factor importante es la actividad acuosa por lo que los alimentos de humedad intermedia son los más propensos, se observa que los valores de A_w de 0.6 a 0.9 son los que más la favorecen: una actividad acuosa menor no permite la movilidad de los reactantes y se inhibe el mecanismo y una mayor produce el mismo efecto ya que el agua diluye los reactantes.

d) El tipo de aminoácidos es decisivo, puesto que éstos serán más reactivos en la medida en que se incremente el tamaño de la cadena y tengan más de un grupo amino. Por esta razón, la lisina, con su grupo amino en posición ϵ es el más activo; también pueden intervenir otros, como la arginina, la histidina y el triptófano.

e) Los azúcares reductores que más favorecen la reacción de Maillard son en primer término las pentosas y, en un segundo término, las hexosas; así mismo, las aldosas actúan más fácilmente que las cetosas, y los monosacáridos son más efectivos que los disacáridos.

f) Los metales como el cobre y el hierro tienen un efecto catalizador sobre la formación de melanoidinas, lo que indica el carácter de oxidación-reducción de la última etapa de este mecanismo. El oxígeno y las radiaciones electromagnéticas actúan de manera semejante. Es importante mencionar que la ausencia de estos agentes (metales, luz y oxígeno) no previene el inicio de la reacción ya que sólo favorecen la polimerización final.

La reacción de Maillard se lleva a cabo de manera muy compleja mediante un gran número de mecanismos que incluye la posible producción de radicales libres, se ha dividido en cuatro posibles etapas: condensación del azúcar reductor con el grupo amino; transposición de los productos de condensación; reacción de los productos de transposición, y polimerización y formación de sustancias coloreadas.

Además de los colores y olores indeseables, esta reacción reduce el valor nutritivo del alimento ya que se pierden aminoácidos y vitaminas y se generan compuestos que pueden ser tóxicos; las propiedades funcionales de las proteínas como la solubilidad, el espumado y la emulsificación también se reducen. La lisina es uno de los aminoácidos indispensables más importantes, esta reacción es de una importancia particular ya que cualquier disminución de este aminoácido afecta el valor nutritivo de un alimento dado. Existen muchos trabajos que muestran que la pérdida de lisina, o su conversión a una forma biológicamente indisponible, reduce la relación de eficiencia proteínica.

2.15.3.- DESNATURALIZACION DE PROTEINAS⁹⁹: Como no sólo es necesario producir más alimentos ricos en toda clase de nutrimentos; hay que cuidar, almacenar, procesar, etc., con los que ya se cuentan; por esta razón, es indispensable conocer todas las posibles rutas de modificación, tanto positivas como negativas, que sufren en especial las proteínas. En términos generales, el significado de la palabra desnaturalización es alejarse o estar lejos de la forma natural. En este proceso se pierden las estructuras secundarias, terciaria y cuaternaria, sin que haya una hidrólisis del enlace peptídico. Cuando se lleva a cabo la desnaturalización, la proteína se desdobra o distiende, esto depende de la intensidad del tratamiento que se le aplique, y cada polipéptido tiene una sensibilidad muy específica a los agentes físicos y químicos que aceleran este fenómeno.

En este proceso, el calor húmedo, por ejemplo, es más efectivo que el calor seco. La mayoría de las proteínas globulares, pierden su conformación cuando se calientan a más de 60-70°C. Otras acciones que afectan a los polipéptidos en este proceso son los esfuerzos mecánicos (homogeneización, amasado y bombeo), el pH, las sales, las bajas temperaturas y la irradiaciones.

Durante la producción de alimentos éstos se someten a operaciones que provocan una alteración de sus proteínas: las altas temperaturas ejercen un efecto muy marcado y que se ve influenciado notoriamente por el pH, la fuerza iónica, la actividad acuosa y la concentración.

En la preparación de los alimentos la mayoría se somete a un calentamiento en el cual se propician diferentes reacciones en las que llegan a intervenir todos los compuestos presentes; algunos de los cambios que ocurren son muy benéficos, otros son dañinos y se van presentando en función de la intensidad del tratamiento térmico. Una de las transformaciones más significativas en las proteínas es un cambio (positivo o negativo) en el valor de la relación de eficiencia proteínica.

Las alteraciones químicas de los polipéptidos, catalizadas térmicamente, son muy variadas y dependen básicamente de la susceptibilidad de sus diferentes aminoácidos. El incremento de la relación de eficiencia proteínica se debe a varias razones, todas ellas relacionadas con un proceso de desnaturalización de las proteínas que trae consigo los siguientes efectos: a) se abren los polipéptidos y los enlaces peptídicos internos se exponen y pueden ser atacados más fácilmente por las enzimas digestivas (aumenta la digestibilidad); b) los aminoácidos azufrados y el triptófano se vuelven biológicamente más disponibles; c) la inactivación de varios factores antifisiológicos, como los inhibidores de tripsina, las hemaglutininas y otros, cuyo consumo reduce

la digestibilidad de las proteínas, d) la inactivación de algunas enzimas, como lipoxigenasas y proteasas, que pueden causar daños en las proteínas, en el primer caso por la producción de peróxidos que a su vez destruyen los aminoácidos indispensables.

Los intervalos de temperatura que favorecen algunas de estas transformaciones son: a) los tratamientos térmicos de 60 a 85°C provocan la inactivación de enzimas, la destrucción de inhibidores de proteasas, la desnaturalización y precipitación de proteínas, la ruptura del enlace disulfuro; b) de 80 a 100°C se propicia la reacción de Maillard, la desnaturalización y la inactivación de proteínas y enzimas más termorresistentes; c) de 100 a 115°C se favorecen la caramelización y la síntesis de enlaces isopeptídicos y de la lisinoalanina, y d) a más de 150°C se induce la ciclización, la racemización y otras reacciones que normalmente no se observan en la mayoría de los alimentos.

2.15.4.- DETERIORO DE LOS LIPIDOS⁹⁹: Las grasas y los aceites pueden sufrir diferentes transformaciones que además de reducir el valor nutritivo del alimento producen compuestos volátiles que imparten olores y sabores desagradables; esto se debe a que el enlace éster de los acilglicéridos es susceptible a la hidrólisis química y enzimática, y a que los ácidos grasos insaturados son sensibles a reacciones de oxidación. El término rancidez se usa para describir los diferentes mecanismos a través de los cuales se alteran los lípidos y se ha dividido en dos grupos: lipólisis o rancidez hidrolítica y autooxidación o rancidez oxidativa; la primera se debe básicamente a la acción de las lipasas que liberan ácidos grasos de los triacilglicéridos, mientras que la segunda se refiere a la acción del oxígeno y de las lipoxigenasas sobre las insaturaciones de los ácidos grasos.

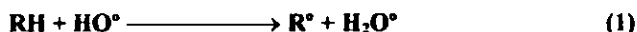
2.15.4.1.- LIPOLISIS: Esta reacción es catalizada por las enzimas lipolíticas llamadas lipasas, y en ciertas condiciones, por efecto de las altas temperaturas, se liberan ácidos grasos de los triacilglicéridos y de los fosfolípidos. A diferencia de otras reacciones enzimáticas, la lipólisis se puede efectuar en condiciones de actividad acuosa muy baja.

2.15.4.2.- AUTOXIDACION: Esta transformación es una de las más comunes de los alimentos que contienen grasas y otras sustancias insaturadas; consiste principalmente en la oxidación de los ácidos grasos con dobles ligaduras, pero se llega a efectuar con otras sustancias de interés biológico como la vitamina A. Recibe el nombre de autooxidación pues es un mecanismo que

genera compuestos que a su vez mantienen y aceleran la reacción. Lo mismo que sucede con otras transformaciones químicas, las altas temperaturas aceleran la autoxidación especialmente por encima de 60°C, de manera que la velocidad se duplica por cada 15°C de aumento; cabe aclarar que la refrigeración y aun la congelación no necesariamente la inhiben ya que la presencia de catalizadores y la disponibilidad de los reactivos puede provocar que se lleve a cabo en estas condiciones. El cobre y el hierro inician esta transformación en concentraciones menores de 1 ppm, por lo tanto es importante evitar todo contacto con recipientes o equipo elaborado con estos metales. Los peróxidos provenientes de grasas oxidadas también producen esta reacción, por lo que no conviene mezclar estas grasas con otras frescas; la energía radiante del ultravioleta es también un importante agente que favorece estos cambios; y la actividad acuosa desempeña un papel muy importante en la velocidad de la reacción.

Muchos son los factores que aceleran esta reacción y que combinadamente tienen un efecto intenso. Se conoce que su mecanismo funciona a través de la producción de radicales libres y se considera que se lleva a cabo en tres etapas; iniciación, propagación y terminación. (25)

(1) INICIACION



El hidrogeno es tomado del ácido graso produciendo un radical libre.

(2) PROPAGACION



Por la presencia de oxígeno se forma el radical hidropéroxido que es altamente reactivo y puede atacar las moléculas de su entorno.

(3) TERMINACION



Además de su descomposición, los peróxidos actúan sobre algunas proteínas generando sustancias cuya naturaleza química puede ser dañina. Su efecto en estos nutrimentos es muy importante ya que se reduce su calidad como tales debido a pérdidas de ciertos aminoácidos, como metionina, triptófano, histidina y lisina; la histamina se produce por la interacción de los hidroperóxidos con la histidina, mientras que la metionina se oxida a su correspondiente sulfóxido. La peroxidación también provoca la polimerización, la agregación y la fragmentación de los polipéptidos, lo que a su vez se refleja en las propiedades funcionales pues causa transformaciones en la hidrofobicidad y la solubilidad. La polimerización de las proteínas se lleva a cabo ya sea mediante enlaces covalentes carbono-carbono, que se establecen al condensarse los grupos amina con los dialdehidos provenientes de la oxidación (malonaldehído o dialdehído malónico), o bien, por un mecanismo que implica los radicales libres de las proteínas; esto es de importancia en los alimentos deshidratados y sobre todos en los de humedad intermedia. Se puede concluir que la oxidación de las proteínas causa su polimerización, así como la ruptura de la cadena, la destrucción de aminoácidos y la producción de compuestos de adición.⁽¹⁹⁾

Además de la autooxidación, los ácidos grasos, saturados o insaturados, pueden sufrir reacciones de descomposición cuando se someten a temperaturas elevadas, en presencia o en ausencia de oxígeno. La degradación de los ácidos grasos saturados con oxígeno implica la formación de monohidroxiperóxidos, cuya ruptura produce sustancias de peso molecular bajo, responsables de ciertos olores característicos; algunas de éstas semejantes a las que se identifican en las reacciones de oxidación.⁽²¹⁾

Al alimentarse a los animales con los peróxidos correspondientes se produce una irritación del tracto digestivo, cantidades elevadas de grasa sobrecalentada produce hipertrofia del hígado, detención del crecimiento e incluso la muerte. La cantidad de compuestos químicos que se originan por un sobrecalentamiento de las grasas es elevada y se han identificado principalmente alcoholes, lactonas, ésteres, cetonas, compuestos aromáticos, epóxidos y en mayor proporción aldehidos. Los peróxidos de los ácidos grasos no saturados son especialmente tóxicos, producen una hinchazón mayor de las mitocondrias aisladas. Se ha observado en estudios con ratas, que cuando un 20% de la dieta de la rata está formada por grasas sobrecalentadas muere el 95% de los animales al cabo de 8 semanas, mientras que el 5% no causa la muerte de ningún animal.

La formación de derivados indeseables de las grasas no depende solamente de la temperatura y del tiempo de exposición; el calentamiento intermitente con enfriamientos sucesivos provoca la formación de polímeros con más rapidez que la exposición prolongada.

No obstante puede considerarse que el peligro de intoxicación por grasas sobrecalentadas o calentadas en repetidas ocasiones es relativamente pequeño, ya que tras la manipulación de las grasas prevalecen solo una cantidad pequeña de epóxidos, peróxidos y otros productos de degradación.⁽⁴⁹⁾

3.- OBJETIVO GENERAL

Aplicar tratamiento físico: térmico y peletizado, a los residuos orgánicos para mejorar su conservación y manejo para utilizarlos en la alimentación del cerdo.

3.1.- OBJETIVOS ESPECIFICOS

I.- Tratar térmicamente a 60, 80 y 100°C, así como peletizar los residuos orgánicos para alimentar cerdos.

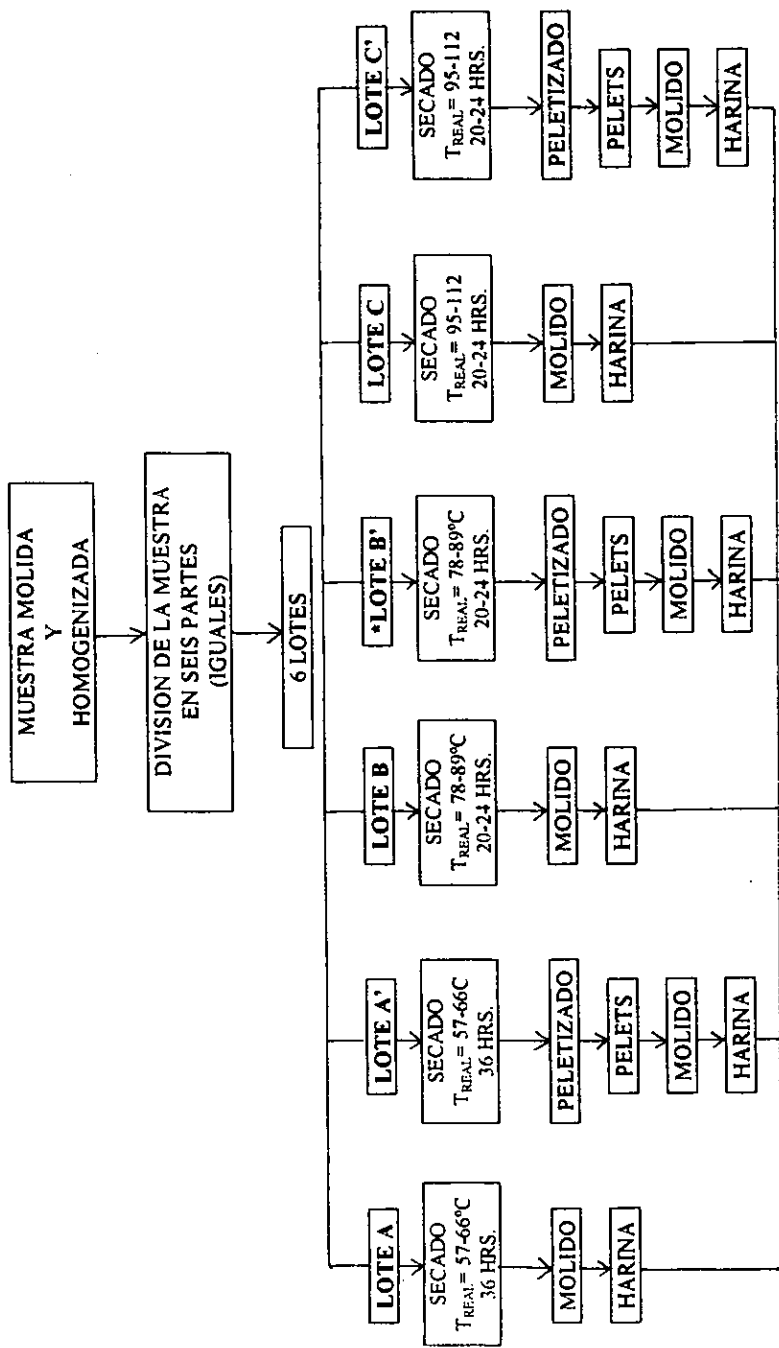
II.- Evaluar química y nutrimentalmente los residuos orgánicos tratados térmicamente y peletizados.

4.- MATERIAL Y METODOS

Durante esta investigación se muestrearon residuos orgánicos del comedor del Instituto Nacional de la Nutrición Salvador Zubirán, esto se hizo durante 10 semanas (9 de febrero al 10 de julio de 1996), de lunes a viernes. Los residuos se limpiaron en forma manual de todos los contaminantes como: servilletas, bolsas de polietileno, papeles, palillos, etc., que pudiera encontrarse en los mismos. Durante la semana de recolección los residuos orgánicos se guardaron en bolsas de polietileno debidamente identificadas dentro de una cámara de refrigeración de la planta piloto del Instituto que se encontraba a una temperatura de 2°C, cada bolsa contenía aproximadamente de 8 a 10 kg. de residuos. El total de residuos orgánicos recolectados en una semana formo un LOTE de muestra, el cual se molió en un molino para carne (Marca HOBART DN-556) con una criba de 3mm. y después se homogeneizó en una mezcladora (Hobart) con aspas estacionarias, con un tiempo de mezclado de 20 min. aproximadamente; durante este proceso se adicionó una mezcla de antioxidantes (BHA/BHT), con el fin de retardar el proceso de rancidez oxidativa de las grasas contenidas en los residuos. Posteriormente el lote de residuos molidos, homogeneizados y que contenía la mezcla de antioxidantes se subdividió en seis partes iguales (SUBLOTES: A, A', B, B', C, C'), separando además la muestra **TESTIGO**, la cual no sufrió ningún tratamiento (térmico o peletizado) y únicamente se mantuvo en refrigeración (Temperatura=2°C). Los sublotos se secaron en un horno de charolas con ventilación forzada (HORNO APEX SSE AM MOD. 48BE). Las condiciones de secado, la temperatura y el tiempo de exposición a la misma se muestran en el diagrama de flujo. La mitad de cada lote seco se peletizó (empastilló) en una máquina peletizadora (Pellet Mill) formando las muestras (A', B' y C'). Por las características de los residuos secos con una humedad de 3-5% y un alto contenido de grasa que oscila entre un 20 y 22%, no fue necesario adicionarles agua para lograr un buen peletizado (empastillado). Posteriormente las muestras secas (A, B, C), así como las secas y peletizadas (A', B', C') se molieron en un procesador convencional de alimentos para obtener una harina con un tamaño de partícula de malla 20, las cuales se almacenaron en bolsas de polietileno etiquetadas para su análisis posterior. Contando al final con 70 muestras para ser analizadas.

DIAGRAMA DE FLUJO





ANALISIS QUIMICO PROXIMAL
 (HUMEDAD, CENIZAS, PROTEINA CRUDA, EXTRACTO ETHEREO Y
 EXTRACTO LIBRE DE NITROGENO)
ENERGIA BRUTA
DIGESTIBILIDAD MULTIENTZIMATICA in vitro
 FIBRA DIETETICA
 *AMINOGRAMA
ANALISIS ESTADISTICO DE DATOS

5.- ACTIVIDADES

La siguiente fase fue el análisis de las muestras, y consistió en las siguientes determinaciones:

*Análisis químico proximal (Método del A.O.A.C. 1990): humedad (Método: 930.04) en estufa de secado a una 110°C, cenizas (Método: 930.05) por calentamiento en mufla Thermolyne Type 1500 a una temperatura de 550°C, proteína cruda (Método: 955.04) se determinó en el aparato Kjeltec Auto 1030 Analyzer y Digestion System 20, 1015 Digester Tecator y calculada como nitrógeno por Kjeldahl utilizando el factor 6.25 (N x 6.25), extracto etéreo (Método: 930.09) técnica de extracción con éter anhidro por 4 hrs. en el aparato Soxtec System HT 1043 Extraction Unit Tecator, y extracto libre de nitrógeno por diferencia; el contenido de fibra cruda se determinó únicamente en la muestra TESTIGO.

*Energía Bruta (Bomba calorimétrica , OXYGEN BOMB CALORIMETER PARR).

*Digestibilidad *in vitro* (A multienzyme technique for estimating protein digestibility, Hsu H.W., Vavak, D.L., Satterlee, L.D. & Miller, G.A.; Journal of Food Science *1977, 42:5)

*Fibra Dietética (Método Colorimétrico de Englyst);

*Aminograma. (Aminoácidos totales se determinaron por hidrólisis ácida con HCl 6 M, y la separación de los aminoácidos se realizó mediante un analizador de aminoácidos BECKMAN 63000 HIGH PERFORMANCE ANALYZER). Este análisis sólo se practico a las muestras secadas a 80°C y peletizadas.

* Cuantificación de Triptofano. Método colorimétrico. (Torres, C.M.A.. TESIS. COMPARACION DE DIFERENTES METODOS QUIMICOS Y MICROBIOLÓGICOS PARA LA DETERMINACION DE TRIPTOFANO. FAC. QUIMICA. UNAM. 1979).

*El Total de Nutrientos Digestibles (TND) se determinó por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{TND} = \text{PC}(0.75) + \text{EE}(0.9)(2.25) + \text{FC}(0.5) + \text{ELN}(0.75)$$

Donde: PC = PROTEINA CRUDA
 EE = EXTRACTO ETereo (GRASAS)
 FC = FIBRA CRUDA
 ELN = EXTRACTO LIBRE DE NITROGENO
*0.75 = FACTOR DE DIGESTIBILIDAD PARA LAS PROTEINAS
*0.9 = FACTOR DE DIGESTIBILIDAD PARA LAS GRASAS
*2.25 = CORRECCION DE ENERGIA PARA LAS GRASAS
*0.5 = FACTOR DE DIGESTIBILIDAD PARA LA FIBRA
*0.75 = FACTOR DE DIGESTIBILIDAD PARA EL EXTRACTO LIBRE
 DE NITROGENO
 (*DETERMINADOS EXPERIMENTALMENTE)

En este estudio se empleó un diseño factorial 3X2 completamente aleatorizado, siendo sus factores y niveles los siguientes, Factor A: Temperatura 60°C, Factor B: temperatura 80°C y Factor C: temperatura 100°C, y niveles: peletizado y sin peletizar. Se obtuvieron 10 repeticiones para cada tratamiento. A los resultados obtenidos se les aplicó un análisis de varianza, de acuerdo al diseño empleado. La diferencia entre medias se analizó por medio de la prueba de Tukey, ambos con un nivel de significancia de $P < 0.05$.

6.- RESULTADOS Y DISCUSION

6.1 ANALISIS QUIMICO PROXIMAL.

En el cuadro No. 18 se pueden observar los resultados del análisis químico proximal. Es interesante resaltar que el contenido de proteína cruda (PC) es superior a las recomendaciones del NRC para cerdos, que va desde el 22 hasta el 15% dependiendo de la etapa productiva del animal, por lo que estos residuos podrían cubrir sin ningún problema alguno las necesidades requeridas por los animales. Al comparar los resultados obtenidos en este estudio con los reportados con anterioridad nos podemos dar cuenta que dependiendo del origen del desperdicio, va a existir una variación muy grande en cuanto a su composición química. Esta heterogeneidad, se ha visto como una desventaja, sin embargo, también podemos observar que al aumentar el número de muestras, éste tiende a homogeneizarse, disminuyendo el intervalo de confianza en los análisis. Por otra parte Grande y col. (1995) reportaron valores de PC (N X 6.25) que van desde 11.05 hasta 23.87% y de fibra cruda de 0.04 a 5.10%. Domínguez en Cuba reporta valores de 21.3 a 24.9% y Maylin y col. de 17.12 a 21.81% de PC. Figueroa, V. (1989) reporta resultados de PC de un estudio en el que se analizaron los residuos orgánicos procesados y suplementados con un 10% de melazas de azúcar, los cuales se evaluaron en dos sesiones durante un año. Teniendo que en la primera determinación se reporta 26.5% y en la segunda 21.9% PC. Con esto podemos confirmar que el factor más importante en éste caso es la diversidad de la naturaleza de los productos que componen los desperdicios procesados.

Otro aspecto importante a resaltar son los resultados de fibra, en donde se puede notar que se refiere a fibra insoluble y no a fibra cruda, (con excepción a la muestra testigo), ya que este último se considera ambiguo y por otra parte, es correspondiente al valor de fibra insoluble, mismo que no excede al porcentaje límite del 7% para el caso de los porcinos.

CUADRO No.18 RESULTADOS DEL ANALISIS QUIMICO PROXIMAL (BASE SECA)

MUESTRA	% HUMEDAD	% SOLIDOS TOTALES	% CENIZAS	% PROTEINA CRUDA	% EXTRACTO ETereo	% FIBRA INSOLUBLE	% ELN
TESTIGO	73.00 ^{aA} +1.69	27.00 +1.69	8.61 +1.19	25.89 +1.81	21.61 +1.42	3.15 * +0.13	40.73
A	5.05 ^{bB} +0.88	94.95 +0.88	8.75 +1.47	25.32 +2.05	21.05 +2.67	4.44 +0.93	59.56
B	3.45 ^{bcB} +1.04	96.55 +1.04	8.83 +1.47	25.19 +2.27	21.97 +2.27	4.48 +0.82	39.53
C	1.95 ^{cB} +1.01	98.05 +1.01	8.86 +1.36	25.30 +2.00	21.83 +1.96	5.04 +0.65	38.97
A'	5.50 ^{bC} +1.32	94.50 +1.32	8.79 +0.96	24.71 +1.47	21.93 +1.47	4.42 +0.01	40.15
B'	4.57 ^{bcC} +2.44	95.43 +2.44	8.91 +0.75	27.26 +1.06	21.78 +1.88	4.05 +0.78	38.00
C'	4.39 ^{cC} +2.61	95.61 +2.61	8.61 +1.40	24.77 +1.72	21.70 +1.62	4.54 +1.11	40.38

Letras superscriptas diferentes indican diferencia significativa (P<0.05)

MINÚSCULAS: FACTOR TEMPERATURA

MAYUSCULAS: NIVEL PELETIZADO

A T=60°C/SIN PELETIZAR

A' T=60°C/PELETIZADA

B T=80°C/SIN PELETIZAR

B' T=80°C/PELETIZADA

C T=100°C/SIN PELETIZAR

C' T=100°C/PELETIZADA

* VALOR CORRESPONDIENTE AL CONTENIDO DE FIBRA CRUDA

n=10 LOS ANALISIS SE REALIZARON POR DUPLICADO

6.2.- ENERGIA BRUTA.

Los resultados de energía se presentan en el cuadro No.19. Con lo que respecta ha este parámetro también se cubren las recomendaciones del NRC que son de 3.300 Mcal/Kg., tanto en energía digestible calculada a partir del total de nutrimentos digestibles, como considerando un 20% de pérdida de la energía bruta. Baird & Clayde (1973), reportan valores de TND del 90.87% y de Energía digestible de 3.831 Mcal/Kg. en residuos orgánicos procesados (esterilizados a 121°C por 30 min.), peletizados y adicionados con 15% de maíz amarillo, 5% de soya y 5% de alfalfa.

Este es otro punto de comparación en el que se puede determinar que estos residuos podrían cubrir las necesidades de los cerdos en todas sus etapas productivas sin necesidad de ser combinados con otra fuente de proteína.

CUADRO No.19 RESULTADOS DEL CONTENIDO DE ENERGIA BRUTA, TND (TOTAL DE NUTRIMENTOS DIGESTIBLES) Y ENERGIA DIGESTIBLE. (BASE SECA)

MUESTRA	ENERGIA BRUTA Mcal/Kg.	¹ ENERGIA DIGESTIBLE CALCULADA Mcal/Kg.	% TND	² ENERGIA DIGESTIBLE CALCULADA Mcal/Kg.
TESTIGO	4.51 ^b +0.09	3.608	95.30	4.201
A	4.87 ^a +0.22	3.896	108.51	4.784
B	4.78 ^a +0.15	3.824	95.27	4.200
C	4.83 ^a +0.15	3.864	94.93	4.185
A'	4.81 ^a +0.22	3.848	95.26	4.200
B'	4.83 ^a +0.14	3.864	95.07	4.192
C'	4.88 ^a +0.22	3.904	95.07	4.192

Letras superscriptas diferentes indican diferencia significativa (P<0.05)

TND = PC(0.75) + EE(0.9)(2.25) + FC(0.5) + ELN(0.75)

²ED (ENERGIA DIGESTIBLE CALCULADA) CONSIDERANDO 1 kg. de TND = 4.407 Mcal/kg.

¹ED (ENERGIA DIGESTIBLE CALCULADA) CONSIDERANDO UNA PERDIDA DEL 20% DE LA ENERGIA BRUTA

n=10 LOS ANALISIS SE REALIZARON POR DUPLICADO

6.3.- DIGESTIBILIDAD MULTIENZIMATICA *in vitro*.

De los resultados de la digestibilidad multienzimática *in vitro*, es importante resaltar que este método se enfoca fundamentalmente a la digestibilidad de la proteína. En el cuadro No.20 se observa que hubo una digestibilidad mayor al 80% en todos los tratamientos y que el testigo fue menor en relación a los demás. Por ello es importante conocer los factores que afectan la digestibilidad, para así poder hacer un uso más eficiente de los residuos orgánicos disminuyendo el desperdicio de la proteína. Los principales factores pueden ser: a) los tratamientos empleados en el proceso de obtención de los residuos orgánicos y b) las características propias de los mismos antes de ser procesados.

Cumpliendo el objetivo de mejorar la calidad del alimento destruyendo algunos factores antinutricionales y mejorando la digestibilidad de la proteína. El molido tiene como finalidad reducir el tamaño de la partícula, lo que produce un mejor mezclado y debido al aumento en la superficie de contacto se incrementa la susceptibilidad del alimento a la acción enzimática mejorando la digestibilidad de la proteína. Durante el peletizado los residuos se sometieron a los efectos conjugados de presión y temperatura; las modificaciones causadas por este tratamiento son profundas, produciendo una desnaturalización de la proteína mejorando la digestibilidad.

CUADRO No. 20 RESULTADOS DEL % DE DIGESTIBILIDAD MULTIENZIMATICA DE LA PROTEINA *in vitro* (Base seca)

MUESTRA	% DIGESTIBILIDAD MULTIENZIMATICA <i>in vitro</i>
TESTIGO	76.89 ^b +1.60
A (SIN PELETIZAR)	82.40 ^a +2.85
B (SIN PELETIZAR)	83.16 ^a +1.94
C (SIN PELETIZAR)	81.64 ^a +3.90
A' (PELETIZADA)	82.91 ^a +4.39
B' (PELETIZADA)	82.66 ^a +3.03
C' (PELETIZADA)	84.97 ^a +5.62

Letras superscriptas diferentes indican diferencia significativa (P<0.05)
n=10 LOS ANALISIS SE REALIZARON POR DUPLICADO

6.4.- FIBRA DIETETICA.

Para determinar el contenido de fibra dietética se utilizó el Método Colorimétrico de Englyst. Por éste método se pueden estimar la fibra dietética total, soluble e insoluble, como polisacáridos diferentes al almidón (**NON-STARCH POLYSACCHARIDES, NSP**)₍₃₀₎. El almidón es removido completamente de manera enzimática, y los NSP son medidos como la cantidad de azúcares liberados después de una hidrólisis ácida. Los azúcares son cuantificados coloriméricamente. El término de fibra dietética encapsula todos los componentes de la pared celular y que no pueden ser digeridos por los monogástricos, excluyendo de esta definición al almidón. La lignina no es un carbohidrato y no puede ser medido analíticamente por éste método como fibra dietética. Es cuantitativamente un componente mínimo en la dieta de los cerdos y es difícil su determinación.

Este método está basado en el procedimiento del AOAC, una diferencia entre ellos es que en la técnica del AOAC se cuantifica el almidón resistente a la hidrólisis con amilasas por el proceso que se le da a la muestra, incrementando el valor de la fibra dietética, además de que también incluye la cantidad de lignina presente; mientras que la cuantificación de la fibra dietética como NSP no incluye nada de almidón y no se ve afectado el valor por el proceso que sufre la muestra durante la determinación.

Es importante hacer mención que la cantidad de almidón resistente se forma durante los procesos que sufren los alimentos y que se ve afectado por factores como humedad, pH, temperaturas elevadas y tiempo de exposición, número de tratamientos térmicos, congelación y deshidratación. El procedimiento requiere muestras con un contenido de humedad menor al 10%, por esta razón no se analizó en la muestra testigo, ya que para reducir el contenido de humedad era necesario secarla para poderla analizar, y esto podría causar una interferencia en los resultados y no ser representativo. En este caso se determinó la cantidad de fibra cruda.

En el cuadro No. 21 se muestran los resultados del contenido de fibra dietética, observándose que no se encontró evidencia de diferencia estadísticamente significativa ($P > 0.05$); la cantidad de fibra total va del 5.85 al 7.24% en promedio para los diferentes tratamientos y como ya se mencionó la cantidad de fibra insoluble (correspondiente a la fibra cruda) no excede el 7%, por lo que no se vería afectado el comportamiento productivo de los cerdos.

CUADRO No. 21 RESULTADOS DEL CONTENIDO DE FIBRA DIETETICA (BASE SECA)

MUESTRA	% FIBRA TOTAL	% FIBRA INSOLUBLE	% FIBRA SOLUBLE
TESTIGO	ND	ND	ND
A (SIN PELETIZAR)	7.08 ± 1.49	4.44 ±0.93	2.44 ±0.66
B (SIN PELETIZAR)	7.24 ±0.53	4.48 ±0.82	2.74 ±0.76
C (SIN PELETIZAR)	6.94 ±0.71	5.04 ±0.65	1.90 ±1.01
A' (PELETIZADA)	6.58 ±0.51	4.42 ±0.01.	2.16 ±0.84
B' (PELETIZADA)	5.85 +1.59	4.05 ±0.78	2.37 ±0.66
C' (PELETIZADA)	6.96 +0.70	4.54 ±1.11	2.42 ±0.95

ND = NO SE DETERMINO

n=10 LOS ANALISIS SE REALIZARON POR DUPLICADO

6.5- AMINOGRAMA

En el cuadro No. 22 se presentan los resultados del aminograma realizado a la muestra B' (SECADA A 80°C/PELETIZADA). Se consideró esta muestra por ser la que presenta el tratamiento intermedio en temperatura de secado y además sufrir el proceso de peletizado.

Normalmente la alimentación presenta cerca del 70% de los costos de la producción pecuaria y, dentro del costo total de los nutrimentos, la proteína y los aminoácidos representan alrededor del 35%, pero su efecto sobre la productividad representa del 40 al 60%. Debido a esto se realiza una amplia investigación sobre estos nutrimentos, la cual ha repercutido en los principios de formulación de dietas para cerdos ya que inicialmente se formulaban las dietas a proteína total (Proteína cruda); posteriormente (en los años 70) empezó a distinguirse la necesidad de proteína y aminoácidos indispensables. Recientemente con la aparición en el mercado de los aminoácidos cristalinos (L-Lisina HCL, DL-Metionina, L-Treonina, L-Triptófano) y la popularización de su empleo, se desarrolló el concepto de **PROTEINA IDEAL** el cuál fue postulado primeramente por el Agricultural Research Council de la Gran Bretaña (ARC, 1981). El concepto indica una relación IDEAL como el perfil o equilibrio perfecto de los aminoácidos dispensables con respecto a la lisina. Sin embargo, en su aplicación generalmente se ha incurrido en el error de restringir el uso de materias primas para incluir solo las de mayor calidad, cuando la utilidad de este postulado reside en la posibilidad de aprovechar la diversidad de los ingredientes para cubrir los requerimientos con la mayor exactitud posible, las ventajas ofrecidas por este perfil ideal pueden ser clasificadas de tres maneras: A) Un medio de descripción simple de los requerimientos de todos los aminoácidos indispensables para el cerdo. B) Un perfil de referencia contra el cual una proteína dietaria de valor desconocido puede ser comparada y evaluada y C) un medio para estimar el valor de proteína dietaria.⁽¹³⁾⁽¹⁶⁾

Después de la propuesta inicial efectuada por el ARC, este concepto fue tomado por otras fuentes (INRA; 1984) y se sometió a comprobación por investigadores ingleses (Wang y Fuller, 1989) y americanos (Baker y Chung, 1992). En el cuadro No. 23 se muestran los perfiles recomendados por diferentes fuentes.

CUADRO No. 22 RESULTADOS DEL AMINOGRAMA REALIZADO A LA MUESTRA B' (SECADA T=80°C/PELETIZADA)

AMINOACIDOS	g/100 g. PROTEINA	RELACION A PROTEINA CALCULADA IDEAL (100% LISINA)
CISTINA	0.3935	34.02
AC. ASPARTICO	0.4791	41.42
TREONINA	0.9608	83.07
SERINA	0.2152	18.60
AC. GLUTAMICO	1.9821	171.37
GLICINA	1.3813	119.43
ALANINA	0.3894	33.66
VALINA	0.5465	47.25
METIONINA	0.4837	41.82
ISOLEUCINA	0.5302	46.84
LEUCINA	1.5145	130.94
TIROSINA	0.6151	53.18
FENILALANINA	1.5573	134.64
HISTIDINA	0.5544	47.93
ARGININA	0.2917	25.22
LISINA	1.1566	100
TRIPTOFANO	0.3587	31.01

CUADRO No.23 PERFIL RECOMENDADO POR DIFERENTES FUENTES⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾

AMINOACIDO	INRA	WNAG & FULLER	FULLER <i>et al.</i>	BAKER & CHUNG			EXPERIMENTAL
				5-20	20-50	50-100	
LISINA	100	100	100	100	100	100	100
TREONINA	60	72	75	65	67	70	83
VALINA	70	75	75	68	68	68	47
MET + CIS	60	63	59	60	65	70	76
ISOLEUCINA	60	60	61	60	60	60	47
LEUCINA	72	110	110	100	100	100	130
FEN + TIR	100	120	122	95	95	95	188
HISTIDINA	26	-----	-----	32	32	32	48
TRIPTOFANO	18	18	19	18	19	20	31

Cuando se usan ingredientes naturales, los resultados típicos de formulación de raciones para cerdos, arrojan un exceso de algunos aminoácidos dispensables e indispensables. El exceso en el aporte de los aminoácidos resulta no sólo en la pobre utilización de los mismos, ya que el animal no puede transformarlos en proteína corporal, sino que los aminoácidos excretados pueden contribuir a deprimir la respuesta productiva.

Ahora bien, al analizar los datos que se presentan en el cuadro No.22 podemos percatarnos que los aminoácidos en relación a la proteína cubren las recomendaciones del NRC, e incluso la mayoría sobrepasan estas, ya que para la lisina es de 1.4 a 0.80 g/100g de dieta, dependiendo de la etapa productiva. Por otra parte en cuanto a la proteína ideal considerando a la lisina como 100% se observa que la treonina, leucina y fenilalanina + tirosina, los valores se encuentran por arriba de lo recomendado, a diferencia de lo que sucede con la valina e isoleucina que no llegan a cubrir el nivel recomendado y que es de 70-68 g/100g para la valina, y de 60-61 g/100g en el caso de la isoleucina.

El balance de los aminoácidos en un alimento, o en una combinación de ellos, determinará la respuesta que el animal tenga al consumo de esa dieta. Un desbalance de aminoácidos puede alterar importantemente el consumo voluntario, el metabolismo, la respuesta productiva y el rendimiento de la canal. De un patrón ideal de proteína se pueden tener las siguientes ventajas o desventajas: 1.- Información precisa sobre los requerimientos de muchos de los aminoácidos aún no existe; 2.- En la composición de aminoácidos de los alimentos, a excepción de lisina, hay poca precisión o la información no existe o es cuestionable; 3.- Cerdos con diferente potencial de ganancia magra tiene diferentes requerimientos; 4.- Las relaciones entre la densidad calórica y los requerimientos de aminoácidos aún no se conocen cuantitativamente y en detalle, lo que es cierto también en cuanto a la concentración de proteína y los requerimientos de aminoácidos; 5.- El concepto de una proteína ideal usando a la lisina como un estándar, simplifica el cálculo de las dietas y 6.- se sabe más respecto a la concentración de lisina en los alimentos y las demandas de lisina de los cerdos que de cualquier otro aminoácido. En resumen, una proteína ideal debe ser igualmente aplicable a cerdos de lento o rápido crecimiento, magros o grasos, cerdos alimentados con dietas bajas o altas en energía o con dietas bajas o altas en proteína, ya que el perfil de los aminoácidos en la proteína será el mismo y del que mucho depende la especificidad de la especie.

Se ha descrito por varios autores que el potencial de retención de proteína de los cerdos en crecimiento, es una función del peso corporal y de la capacidad de consumo voluntario. Por lo que teóricamente, los requerimientos de aminoácidos indispensables de los cerdos en crecimiento para expresar éste potencial, cambian continuamente conforme el animal va creciendo, lo que sugiere la necesidad de revisar constantemente los requerimientos para las diferentes etapas productivas. El consumo voluntario juega un papel importante en la deposición de proteína, éste es básicamente gobernado por el peso corporal de los cerdos, aunque se sabe que existen varios factores que pueden alterarlo, como por ejemplo, en el caso de las nuevas estirpes que han desarrollado una mayor capacidad de deposición de tejido magro, el consumo voluntario de éstos tiende a ser menor, esto ha hecho que exista una mayor demanda de la calidad de los alimentos. También hay que considerar que existen diferencias entre hembras y machos, las hembras consumen en promedio 15% menos alimento que los machos, lo que hay que tomar en cuenta al llevar acabo las formulaciones de alimentos, en cuanto a la diferencia de concentración de los nutrimentos en la dieta. Además de lo señalado anteriormente, existen buenos fundamentos bibliográficos para aseverar que hay una marcada diferencia entre las hembras y los machos castrados, en cuanto a la capacidad de respuesta a diferentes niveles de proteína y aminoácidos. Se ha visto que la respuesta de los machos castrados en crecimiento-finalización alcanzó su máxima expresión con el 13% de proteína cruda y 0.60% de lisina, en el caso de las hembras, esta misma se logro con 17.2% de proteína cruda y 0.90% de lisina. Utilizando dietas con 14.5% de PC, los requerimientos de lisina digestible para machos castrados de los 55 a 90 kg., fue de 0.58% y de 0.64% para las hembras en la misma etapa productiva, mientras que para pesos posteriores (de los 90 a los 110 kg.) y utilizando una dieta con 13.5% de PC, los requerimientos de los machos castrados fueron de 0.49% y de 0.52% para las hembras. Demostrando que cuidando el balance de aminoácidos en la dieta se puede disminuir la cantidad de proteína en la dieta (de 3 a 4 puntos porcentuales), obteniendo desempeños productivos similares a los de una dieta maíz-soya con 17% de PC. Como ya se dijo la lisina es el primer aminoácido limitante en la alimentación de los cerdos, sobre todo con los ingredientes que se utilizan comúnmente en nuestro país (específicamente los granos, los cuales representan del 65 al 85% del total de la ración). Sin embargo, es necesario considerar los requerimientos de treonina, triptófano y aminoácidos azufrados, si se quieren lograr mejores resultados en lo que se refiere a la deposición de proteína,

y al rendimiento magro de los animales. El grado en el cual los otros aminoácidos ácidos se convierten en limitantes después de la lisina depende de una serie de condiciones como lo son: la fase de crecimiento o producción en la que se encuentran los cerdos; el nivel de proteína de la dieta; los ingredientes utilizados y su contenido real de aminoácidos, entre otros. Aun cuando no se ha establecido el orden en el cual los aminoácidos ácidos son limitantes, se ha observado que tanto el triptófano como la treonina, son de una gran importancia después de la lisina.⁽⁶²⁾

En este caso la cantidad de triptófano presente en los residuos orgánicos procesados, también se encuentra por arriba del perfil recomendado para proteína ideal, por lo que se cubrirían perfectamente los niveles recomendados en cualquiera de las etapas productivas de los cerdos.

Considerando los tratamientos que se aplicaron a los residuos orgánicos tenemos, que la reducción del tamaño de partícula es uno de los beneficios más visibles, ya que en muchos de los experimentos que se han realizado se observa una eficiencia en la ganancia de peso en cerdos en finalización, en cerdos en crecimiento y en cerdas gestantes. También se ha visto un incremento en la ingestión de alimento al reducir el tamaño de partícula y una mejora en la digestibilidad de nutrimentos.⁽²⁾ Otro aspecto importante es que una de las causas principales de una falta de uniformidad en las dietas es un mezclado inadecuado. En este trabajo no se midió, ni se determinó la eficiencia del mezclado, pero en resultados obtenidos en trabajos en los que se ha comparado el tiempo de mezclado se ha visto que al aumentar éste, en lo referente a los efectos de la uniformidad de la mezcla sobre el desempeño del crecimiento de los cerdos, la ganancia diaria promedio y la relación ganancia/alimento aumenta de forma muy marcada, por una mejora en la uniformidad de la dieta.⁽¹⁸⁾

Las formas más comunes de procesamiento térmico que se utilizan hoy en día en la industria de alimentos balanceados son el secado y el peletizado, entre otros. Durante el secado se disminuye el contenido de humedad, concentrando los nutrimentos. El efecto de la temperatura, como ya se mencionó entre otras cosas, determina una reducción del peso y volumen e incrementa la vida útil de los productos secos; se disminuye también la carga de microorganismos que pudieran estar presentes y que en un momento puedan causar problemas de salud. Durante este proceso se desnaturalizan las proteínas aumentando su digestibilidad, se inactivan enzimas, se destruyen factores antinutricionales, se llevan a cabo reacciones de caramelización y de Maillard.

En este trabajo se esperaba que al incrementarse la temperatura de secado y el tiempo de exposición una disminución en el contenido de proteína cruda, lo cual se descartó, ya que no se presentó diferencia significativa ($P < 0.05$) en los resultados obtenidos a las temperaturas de secado utilizadas (60, 80 y 100°C) y que se pueden observar en el cuadro No.18. Así mismo observamos que la calidad de las mismas no se deterioro, ya que en el aminograma realizado a las muestras secadas a 80°C/peletizadas, la cantidad del aminoácido más susceptible (lisina) cubre los parámetros establecidos para considerar que la proteína es de calidad idónea para alimentar cerdos, inclusive en cualquiera de sus etapas de producción.

Al irnos acercando al Siglo XXI, nos encontramos con muchas ideas acerca de la calidad del pelet y su estabilidad, la mayoría de las cuales se enfocan en una o dos áreas del proceso de peletización. Sin embargo, el peletizado debe ser visto como un proceso completo. En este trabajo no se evaluó la calidad del pelet, pero es importante considerar que la misma empieza a partir de contar con ingredientes de buena calidad en la formulación, usualmente se adiciona vapor antes del peletizado, pero no es una regla. Cuando el contenido de grasa en el alimento es alta, los pelets tienden a separarse, pues está actúa como lubricante y no como aglutinante.⁽³⁾ Actualmente continúa en ascenso el uso eficiente de subproductos en la formulación. La aptitud para el peletizado de estos ingredientes es una consideración importante para predecir la calidad final del pelet de cualquier formulación de alimento. Dentro de los beneficios que nos ofrece el peletizado, tenemos: una segregación menor de las materias primas, una mayor densidad de masa, menor polvosidad y un mejoramiento de las características de manejo. Además, el peletizado puede eliminar los problemas de puenteo, haciendo que la alimentación de dietas con ingredientes finamente molidos sea un problema menos severo, haciendo que las dietas sean más apetecibles. Smits y col. (1994), diseñaron un experimento con cerdos en finalización para medir los efectos del peletizado y la digestibilidad aparente en diferentes niveles de consumo, encontrando que el peletizado incremento la digestibilidad aparente, la ganancia diaria promedio y la relación ganancia/alimento. Sin embargo, otros investigadores han reportado que no existen efectos significativos del peletizado sobre la tasa de crecimiento. En forma alternativa, muchos investigadores atribuyen que se mejora el desempeño de los cerdos alimentados con dietas peletizadas a que el desperdicio de alimento se ve disminuido. Esta hipótesis sería válida si sólo se

hubiera mejorado la eficiencia de la ganancia, pero es inconsistente con los mejoramientos en la digestibilidad de nutrimentos y la tasa de ganancia.

Así, la disminución del desperdicio de alimento probablemente sí ayuda a mejorar la eficiencia de la ganancia en cerdos alimentados con dietas peletizadas, pero aún hay otros factores que mejoran la digestibilidad de nutrimentos. Todavía se tiene que determinar si estos factores son un cambio en el comportamiento al comer la ración, ya que los alimentos así procesados tienen las siguientes características: mayor velocidad de tránsito por el tubo digestivo, la digestibilidad de la fracción energética es mayor debido a que el proceso de color altera los componentes del alimento como las proteínas, almidones, grasas y destruye parte de la fibra cruda y se inactivan por calor algunos factores antinutricionales, proteínas, glucósidos e inhibidores del crecimiento, estos últimos se observan con mayor claridad cuando se trata de alimentos a base de cereales y leguminosas. Por otro lado el peletizado puede alterar el valor nutritivo, además que la presión y el calor generado durante el proceso, tiende a mejorar el potencial de la energía metabolizable. Se ha visto por otra parte, que la excreción de nutrientes causan un problema al medio ambiente, presentándose una reducción en la excreción de materia seca y nitrógeno en las heces, de un 23 y 22% respectivamente, como resultado de la peletización.

7.- CONCLUSION

Al término de este estudio podemos concluir y proponer lo siguiente de acuerdo a los resultados obtenidos:

- Los residuos orgánicos del comedor del Instituto Nacional de la Nutrición secados y peletizados cubren las necesidades y recomendaciones nutritivas para los cerdos en cualquiera de sus etapas productivas (desarrollo, crecimiento y finalización).
- Se recomienda una temperatura de secado de 80°C, ya que se comprobó que la calidad de las proteínas presentes no se deterioran, aún cuando el tiempo de exposición fue largo ($t \geq 20$ hrs.). Observando que al disminuir la temperatura de secado, el tiempo de exposición al calor aumentaba, ya que el contenido de humedad inicial es alto y se encuentra entre 70-80%.
- No se encontró diferencia significativa ($P < 0.05$) en el contenido de proteína cruda entre los diferentes tratamientos.
- Se observa que la calidad de la proteína es idónea y por lo tanto, estos residuos procesados se pueden utilizar para elaborar dietas balanceadas a partir de los mismos. Utilizándolos como base de un alimento concentrado, es decir, se pueden suplementar con cereales de bajo contenido proteico.

8.- RECOMENDACIONES

- Evaluar la vida de anaquel de los residuos procesados térmicamente y peletizados.
- Proponer el uso de diferentes antioxidantes por el contenido elevado de grasa de los residuos orgánicos procesados.
- Llevar a cabo un análisis de costos y determinar si es rentable la utilización de los residuos orgánicos procesados por secado y peletización para la alimentación de cerdos.
- Realizar pruebas biológicas con cerdos de engorda.

7.- CONCLUSION

Al término de este estudio podemos concluir y proponer lo siguiente de acuerdo a los resultados obtenidos:

- Los residuos orgánicos del comedor del Instituto Nacional de la Nutrición secados y peletizados cubren las necesidades y recomendaciones nutritivas para los cerdos en cualquiera de sus etapas productivas (desarrollo, crecimiento y finalización).
- Se recomienda una temperatura de secado de 80°C, ya que se comprobó que la calidad de las proteínas presentes no se deterioran, aún cuando el tiempo de exposición fue largo ($t \geq 20$ hrs.). Observando que al disminuir la temperatura de secado, el tiempo de exposición al calor aumentaba, ya que el contenido de humedad inicial es alto y se encuentra entre 70-80%.
- No se encontró diferencia significativa ($P < 0.05$) en el contenido de proteína cruda entre los diferentes tratamientos.
- Se observa que la calidad de la proteína es idónea y por lo tanto, estos residuos procesados se pueden utilizar para elaborar dietas balanceadas a partir de los mismos. Utilizándolos como base de un alimento concentrado, es decir, se pueden suplementar con cereales de bajo contenido proteico.

8.- RECOMENDACIONES

- Evaluar la vida de anaquel de los residuos procesados térmicamente y peletizados.
- Proponer el uso de diferentes antioxidantes por el contenido elevado de grasa de los residuos orgánicos procesados.
- Llevar a cabo un análisis de costos y determinar si es rentable la utilización de los residuos orgánicos procesados por secado y peletización para la alimentación de cerdos.
- Realizar pruebas biológicas con cerdos de engorda.

9.- REFERENCIAS

- (1).- AOAC: Official Methods of Analysis (15th. ed.) Association of Official Analytical Chemists. Arlington, 1990.
- (2).- Abín, J.G. (1991); "Factores que afectan el consumo de alimento en los cerdos". En: **Memoria del Primer Ciclo Internacional de Conferencias sobre Nutrición y Manejo del Cerdo**. Ed. Asociación Mexicana de Especialistas en Nutrición Animal. Pág.189-199. Irapuato, Gto.
- (3).- Alles, G. (1997); "El peletizado hacia el Siglo XXI". *Feed & Grain*, Julio, 26-27.
- (4).- Aron A. Bondi. (1988); NUTRICION ANIMAL. Ed. Acribia, Zaragoza. Pág.43-59, 79-106, 109-152, 171-174, 175-214.
- (5).- Badui, D.S.(1993); QUIMICA DE LOS ALIMENTOS. Ed. Alhambra Mexicana. 3ra. edición. Pág. 69-84, 170-188 y 247-258.
- (6).- Baird, D.M. & Young, C.T.(1973);"Food waste makes high energy swine diet". *Feedstuffs*, March.
- (7).- Batterham, E.S., Lewis, C.E., Lowe, R.F. and McMillan, C.J. (1980); "Digestible energy content of cereals and wheat by-products for growing pigs". *Animal Production*, 31:259-271.
- (8).- Behnke, K.C. (1995); "Alternativas en el acondicionamiento anterior a la peletización". *Feed & Grain*, Octubre, 4-7
- (9).- BIBLIOTECA VETERINARIA Y ZOOTECNIA; PORCINOCULTURA I. (1980) Ed. AEDOS, Barcelona. 5ta. Edición. Pág. 55-61.
- (10).- Brenda Lynch. (1993); "Limits on nutrients", *Pig International*. February, 15-19.
- (11).- Brennan, J.G; Butters, J.R; Cowell, N.D. & Lilly, A.E.V., (1980) LAS OPERACIONES DE LA INGENIERIA DE LOS ALIMENTOS. Ed. Acribia, España. Pág. 61-71, 85-97, 231-251, 318-365.
- (12).- Carré, B. (1991); "The Chemical and Biological Bases of a Calculation System Developed for Predicting Dietary Energy Values: a Poultry Model". In: *IN VITRO DIGESTION FOR PIGS AND POULTRY*. Fuller, M.N. Ed. CAB International. pp. 67-85
- (13).- Casillas, G.S. y Cuarón Ibarguengoytia, J.A. (1997); "Manejo de la variabilidad en el contenido de aminoácidos en ingredientes y dietas para cerdos". En: *Seminario de Actualización en Nutrición de Monogástricos*. Universidad Autónoma del Edo. de México. FMVZ. Junio. Pág. 83-91.

- (14).- Church, D.C. (1987); FUNDAMENTOS DE NUTRICION Y ALIMENTACION DE ANIMALES, Ed. Limusa. 1ª. Edición. Pág. 217-259, 288-290, 309-310.
- (15).- CONFERENCIAS DE ALIMENTACION PORCINA NO CONVENCIONAL. DE. CENTRO DE INFORMACION Y DOCUMENTACION AGROPECUARIO (CIDA). La, Habana, Cuba. 1988.
- (16).- Corona, G.L. (1997); "El concepto de proteína ideal en la formulación de dietas para aves y cerdos". En: *Seminario de Actualización en Nutrición de Monogástricos*. Universidad Autónoma del Edo. de México. FMVZ. Junio. Pág.35-41.
- (17).- Craig, T. (1995); "El uso del contenido en aminoácidos en vez de proteína como indicador del valor nutritivo de un alimento balanceado". *Feed & Grain*, Abril, 4-8.
- (18).- Cuarón Ibarquengoytia, J.A. (1991); "Alteración del rendimiento magro de los cerdos por efecto de la dieta y algunos aditivos". En: *Memoria del Primer Ciclo Internacional de Conferencias sobre Nutrición y Manejo del Cerdo*. Ed. Asociación Mexicana de Especialistas en Nutrición Animal. Pág. 207-241. Irapuato, Gto.
- (19).- Cunha, T.J. (1977); SWINE FEEDING AND NUTRITION, Academic Press, N.Y. pp. 205-218, 237-239.
- (20).- De Blank, H.,Hendrix, E., Litjens, M. & Van Maaren, H. (1997); "On.Line control and optimisation of the pelleting process of Animal Feed". *Journal Science Food Agriculture*. 74:1, 13-19.
- (21).- Derache, R. (1990). TOXICOLOGIA Y SEGURIDAD DE LOS ALIMENTOS. Ediciones Omega, Barcelona. Pág. 335-347.
- (22).- Devendra, C. (1989); "Non-conventional Feeds: Potential Value for Animals in the Asian Region". *Outlook Agriculture*, 18:2, 58-64.
- (23).- Díaz, R., Vilda Figueroa, J.L.Y., Pérez,A. Maylin, A. y Bayley, H.S. (1990); "Utilización de miel final en el cerdo. Digestibilidad aparente y absorbabilidad prececal en cerdos alimentados con levadura torula o desperdicios procesados". *Ciencia y Técnica en la Agricultura. GANADO PORCINO*. 13:1, 75-87.
- (24).- Dieguez, F.J., Cruz-Bustillo, D., Santana. I. y Figueredo, M.A. (1985); "Comportamiento y composición corporal de cerdos de cinco razas alimentados con desperdicios procesados y sacrificados a tres edades". *Ciencia y Técnica en la Agricultura. GANADO PORCINO*. No.1, Enero, 7-25.
- (25).- Encyclopedia of Food Science, Food Technology and Nutrition. Academic Press. (1993). (Vol. 3, Drying, 1456-1469); (Vol. 3, Chemical Changes, 1485-1497); (Vol. 7, Wastege of Food, 4834-4836).

- (26).- Englyst, H.N., Trowell, H., Southgate, & Cummings, J.H. (1987); "Dietary fiber and resistant starch". *American Journal of Clinical Nutrition*. 46:87, 3-4.
- (27).- Englyst, H.N. & Cummings J.H., (1988); "Improved Method for measurement of dietary fiber as non-starch polysaccharides in plant foods". *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 71:4, 808-814.
- (28).- Englyst, H. (1989); "Classification and measurement of plant polysaccharides". *Animal Feed Science and Technology*, 23: 27-42.
- (29).-Englyst, H.N., Quigley, M.E. & Hudson, G.J. (1994); "Determination of dietary fibre as non-starch polysaccharides with gas-liquid chromatographic, high-performance liquid chromatographic or Spectrophotometric measurement of constituent sugars". *Analyst*, July, 119: 1497-1509.
- (30).- Englyst, H.N., Quigley, M.E. & Hudson, G.J. (1995); "Definition and measurement of dietary fibre". *European Journal of Clinical Nutrition* 49: Suppl. 3, 48-62.
- (31).- Fahey, G.C. & Holzgraefe, D.P. (1982); "Alternative energy feedstuffs for pigs". *Pig News and Information*, 3:4, 409-417.
- (32).- FERMEX. SEPTIMO CICLO DE CONFERENCIAS SOBRE AMINOACIDOS SINTETICOS. Septiembre, 1995.
- (33).- FERMEX. OCTAVO CICLO DE CONFERENCIAS SOBRE AMINOACIDOS SINTETICOS. Septiembre, 1996.
- (34).- FERMEX. NOVENO CICLO DE CONFERENCIAS SOBRE AMINOACIDOS SINTETICOS. Septiembre, 1997.
- (35).- Figueroa, V. (1989) "Non conventional feeding for pigs in Cuba", *Pig News and Information*, 4:3, 409-417.
- (36).- Flores Menendez, J.A., (1979) GANADO PORCINO, Ed. Limusa, 1ª. Ed. Pág. 399-484.
- (37).- Grande, G., Sangines, L. Carmona, J., Pérez-Gil, F., Suárez, B. y Domínguez, P.L; (1995). "Potencial de la producción porcina con residuos de consumo humano. I. Comportamiento productivo de cerdos para abasto alimentados con residuos orgánicos del consumo humano". *Revista Computarizada de Producción Porcina*; Sept. 2:3, 353-360.
- (38).- Grande, C.D.; (1991) "Situación Actual de la nutrición del Cerdo". En: *Memoria de Alimentación y Nutrición del Cerdo*, Ed. Fac. Med. Vet. y Zoot. SUA. Educación Continua. Pág. 1-9.

- (39).- Hikling, D.R. (1993); "Cómo evaluar un ingrediente". *Síntesis Porcina*. Año. 12, No.1: 26-33.
- (40).- Hope, H. (1984); "Pigs and arable blend on the Wolds". *Farmers Weekly*, August, 91-93.
- (41).- Hsu, H.W., Vavak, D.L., Satterlee, L.D. and Miller, G.A. (1977); "A multienzyme technique for estimating protein digestibility". *Journal of Food Science*, 42:5, 1269-1273.
- (42).- Hui, Y.H.; *ENCYCLOPEDIA OF FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY*. Wiley-Interscience Publication. 1992. (Principles of animal Nutrition and Feeding, 52-59); (Dryers: Technology and Engineering, 619-622); (Nutritional Quality and Food Processing, 1887-1892); (Proteins: Denaturation and Food Processing, 2191-2200).
- (43).- INNSZ, (1984) *MANUAL DE TECNICAS DE LABORATORIO PARA EL ANALISIS DE ALIMENTOS*. Div. Nutr. Exp y Ciencia de los Alim.
- (44).- I.N.R.A. (1985) *ALIMENTACION DE LOS ANIMALES MONOGASTRICOS*. Ed. MUNDPRENSA, Zaragoza. Pág. 23-25, 68, 88.
- (45).- Jeraci, J.L. & Lewis, B.A. (1989); "Determination of soluble fiber components: (1->3; 1->4)-b-D-glucans and pectins". *Animal Feed Science and Technology*, 23: 15-25.
- (46).- Lahaye, M. (1991) "Marine algae as sources of fibres: Determination of soluble and insoluble dietary fibre contents in some sea vegetables". *Journal. Science of. Food Agriculture* , 54: 587-594.
- (47).- Laparra, V.J.L., (1991) "Aminoácidos en la alimentación del cerdo para abasto". En: *Memoria de Alimentación y Nutrición del Cerdo*, Ed. Fac. Med. Vet. y Zoot. SUA. Educación Continua. Pág. 15-24.
- (48).- Lekule, F.P., Jorgensen, H., Fernández, J.A. and Just, A. (1990); "Nutritive value of some tropical feedstuffs for pigs. Chemical Composition, digestibility and metabolizable energy content". *Animal Feed Science and Technology*, 28: 91-101.
- (49).- Linder, E. (1992). *TOXICOLOGIA DE LOS ALIMENTOS*. Ed. Acribia, Zaragoza. Pág. 106-108.
- (50).- Livingstone, R.M. & Fowler, V.R.; "Pig feeding in the future: Back to nature?". *SPAN*, (1984), 27:3, 108-110.
- (51).- López González, M.A. (1994); *TESIS. COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y RASGOS DE LA CANAL DE CERDOS PARA ABASTO ALIMENTADOS CON RESIDUOS ORGANICOS DEL CONSUMO HUMANO A DIFERENTES NIVELES DE SUSTITUCION. (FES CUAUTITLAN) UNAM.*

- (52).- Luna, F.J., Tejada, H.I. y Shimada, S.A. (1993); "La extrusión y empastillado de yucarroz mejora la producción porcícola". *México Ganadero*, Mayo, 33-34.
- (53).- Machado Pinheiro, L.C. (1976); LOS CERDOS. Ed. Hemisferio Sur. Pág. 389-455.
- (54).- Marlett, A.J. (1989); "Measuring dietary fiber". *Animal Feed Science and Technology*, 23: 1-13.
- (55).- Maylin, A., Martínez, O. y Rosas, B. (1991) "Apuntes sobre las características de la utilización digestiva de los desperdicios procesados en el cerdo en crecimiento". *Zootecnia de Cuba*. Vol. I Núm. 3-4, 17-24.
- (56).- McDonald P. (1980); NUTRICION ANIMAL. Ed. Acribia, Zaragoza. Pág. 8-27, 28-43, 45-60, 61-93, 94-120. 131-139, 209-213.
- (57).- Morrison, B. F. (1994); COMPENDIO DE ALIMENTACION DEL CERDO. Uteha Noriega Editores. Pág. 534-562.
- (58).- Noblet, J., Fortune, H., Dupire, C. and Dubois, S. (1993); "Digestible, metabolizable and net energy values of 13 feedstuffs for growing pigs: effect of energy systems". *Animal Feed Science and Technology*, 42: 131-149.
- (59).- North, O. M. (1987); MANUAL DE PRODUCCIÓN AVICOLA. Ed. El Manual Moderno, 2ª. Edición. Pág. 62-80.
- (60).- Ortiz, R. (1984); "Premisas para la utilización de los subproductos agroindustriales en la alimentación animal". *Revista Cubana de Ciencias Veterinarias*, 15:1, 83-90.
- (61).- Ponce de León, R. J. C. (1991); "Los minerales en la alimentación del Cerdo". En: *Memoria del Primer Ciclo Internacional de Conferencias sobre Nutrición y Manejo del Cerdo*. Ed. Asociación Mexicana de Especialistas en Nutrición Animal. Pág. 242-270. Irapuato, Gto.
- (62).- Renteria, F.J.A. (1997); "Alternativas para mejorar la eficiencia alimenticia de cerdos en crecimiento y finalización". *Seminario de Actualización en Nutrición de Monogástricos*. Universidad Autónoma del Edo. de México. FMVZ. Junio, 51-56.
- (63).- Robinson S.D. (1991); BIOQUIMICA Y VALOR NUTRITIVO DE LOS ALIMENTOS. Ed. Acribia, Zaragoza. Pág. 325-327
- (64).- Robles, C.A. (1993); "Avances en vitaminas para cerdos". *Síntesis Porcina*, Año.12 No. 1.

- (65).- Roth-Maier, D.A., Machmüller, A., Kreuzer, M. and Kirchgessner, M. (1993); "Effects of pectin supplementation on the digestion of different structural carbohydrate fractions and on bacterial nitrogen turnover in the hindgut of adult sows". *Animal Feed Science and Technology*, 42: 177-191.
- (66).- Russell, J.P., Geary, M.T., Brooks, H.P. & Campbell, A. (1996). "Performance, water use and effluent output of weaner pigs fed *ad libitum* with either dry pellets or liquid feed and the role of microbial activity in the liquid feed". *Journal Science Food Agriculture*. 72:1, 8-16.
- (67).- Sánchez-Castillo, C.P.; Dewey, P.J.S.; Bourges, H.; and James, W.P.T. (1994); "Dietary fibre, what is and how it is measured". *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 44:2, 68-75.
- (68).- Sánchez-Castillo, C.P.; Dewey, P.J.S.; Solano, M.L.; Tucker, M. and James, W.P.T. (1994); "The nonstarch polysaccharides in mexican pulses and cereal products". *Journal of Food Composition and Analysis*. 7: 260-281.
- (69).- Sánchez-Castillo, C.P.; Dewey, P.J.S.; Solano, M.L.; Tucker, M. and James, W.P.T. (1995); "The dietary fiber content (nonstarch polysaccharides) of mexican fruits and vegetables". *Journal of Food Composition and Analysis*, 8: 284-294
- (70).- Shimada, S.A. (1897); FUNDAMENTOS DE NUTRICION ANIMAL COMPARATIVA. 3ra. edición. Pág. 36-53, 55-82.
- (71).- Sisson. S. and Grossman, J.D. (1982); ANATOMIA DE LOS ANIMALES DOMESTICOS. Salvat Editores, 5ª. Edición. Tomo II. Pág. 1399-1413.
- (72).- Smits, B., Jongbloed, A.W. and Sebek, L.B.J. (1994); "Effect of pelleting and feeding level on apparent digestibility and feeding value of diets for growing-finishing pigs". *Animal Feed Science and Technology*, 45: 349-362.
- (73).- Suárez, B., Barkin, D. (1990); PORCINOCULTURA, Producción de traspatio, otra alternativa. Centro de Ecodesarrollo. Pág. 125-146.
- (74).- Suárez, B. (1995); "La porcicultura de traspatio y su potencialidad". LA PRODUCCION PORCICOLA EN MEXICO: CONTRIBUCION AL DESARROLLO DE UNA VISION INTEGRAL. UAM AZCAPOTZALCO. Pág. 173-195.
- (75).- Tejada, I. (1983); MANUAL DE LABORATORIO PARA ANALISIS DE INGREDIENTES UTILIZADOS EN LA ALIMENTACION ANIMAL. Patronato de Apoyo a la Investigación Pecuaria en México.
- (76).- Theander, O & Aman, P.; "The chemistry, morphology and analysis of dietary fiber components". *Dietary fibers: Chemistry and Nutrition*. Department of Chemistry, Swedish University of Agricultural Sciences Uppsala, Sweden. Academic Press, Inc. pp. 215-244.

(77).- Torres, C. M. A. (1979); TESIS. COMPARACION DE DIFERENTES METODOS QUIMICOS Y MICROBIOLOGICOS PARA LA DETERMINACION DE TRIPTOFANO. FACULTAD DE QUIMICA. UNAM.

(78).- Van Barneveled, R.J. & Baterham, E.S. (1994); "The effect of heat on amino acids for growing pigs". 73: 221-275.

(79).- Whittemore, C.T. & Elsley, F.W.H. (1978); ALIMENTACION PRACTICA DEL CERDO. Biblioteca Agrícola. Ed. AEDOS, Barcelona. 1ª Edición. Pág. 39-57, 59-68, 79-96, 97-103, 105-110

(80).- Yin, Y.L.; Huang, R. L.; Zhang, H.Y., Chen, C.M., Li, T. J., Pan, Y. F. (1993); "Nutritive value of feedstuffs and diets for pigs: I. Chemical composition, apparent ileal and faecal digestibilities". *Animal Feed Science and Techonology*. 44: 1-27.

APENDICE

DETERMINACION DE FIBRA DIETARIA METODO COLORIMETRICO DE ENGLYST (KIT ®)

- El procedimiento de Englyst permite determinar el contenido de fibra total, soluble (diferencia) e insoluble como polisacáridos diferentes al almidón (NSP). El almidón es removido completamente de manera enzimática, y los polisacáridos diferentes al almidón son cuantificados colorimétricamente como los azúcares liberados después de una hidrólisis ácida.
- Los reactivos que son utilizados deben ser puros y no se deben sustituir, se necesita agua destilada y desionizada.
- Kit para la determinación de fibra dietaria, desarrollado por The Medical Research Council, Dunn Clinical Nutrition Centre, Hills Road, Cambridge, UK en colaboración con Nvo Nordisk.
- Acetona
- Solución de ácido dimetil glutárico. (DMG: Producto No. D-4379, Sigma. Se debe mantener en un desecador que contenga pentóxido de fósforo). Pesar 8.0 g. de DMG en un vaso que contenga 98.5 g. de solución 5M NaOH.
- Dimetil sulfoxido (DMSO).
- Etanol absoluto.
- Solución de etanol absoluto acidificado 85% (v/v); adicionar 1 ml. de 5M HCl por litro de solución de etanol.
- Perlas de vidrio de 2.5 a 3.5 mm de diámetro (Producto No. 33212, Merck)
- Acido clorhídrico 5 M.
- Arena lavada con ácido, que pase por una malla de 50-100 mm (Producto No. 33094, Merck).
- Buffer de acetato de sodio, 0.1 M, pH 5.2. Ajustar el pH con acetato de sodio 0.1 M a pH 5.2 con ácido acético 0.1 M después adicionar 4 ml. de cloruro de calcio 1 M por litro.
- Hidróxido de sodio, 3.0 y 5.0 M.
- Buffer de fosfato de sodio, 0.2 M, pH 7.0. Ajustar 0.2 M Na_2HPO_4 a pH 7.0 con Na_2HPO_4 0.2 M.
- Acido sulfúrico 12 M (Producto No. 19321 6Y, Merck)
- Acido sulfúrico 2 M. Adicionar 5 ml. de ác. Sulfúrico 12 M a 25 ml. de agua y mezclar. Mantener a temperatura ambiente antes de usarse.
- Acido sulfúrico 2.4 M. Adicionar 5 ml. de ác. Sulfúrico 12 M a 20 ml. de agua y mezclar. Mantener a temperatura ambiente antes de usarse.

Los aparatos que se requieren para esta determinación son:

Balanza analítica (0.1 mg.)

Centrifuga (2,500 rpm.)

Tubos de vidrio de capacidad de 50-60 ml. con tapón de rosca.

pH-metro.

Dosificadores, uno para 8 ml. y otro para 40 ml.

Especofotometro con longitud de onda (absorbancia) 400, 450 y 530nm

Vortex

Baños de incubación; uno que se mantenga a 100°C; y otro a 35 a 50°C.

Pipetas automáticas.

*Las muestras no deben tener un contenido de humedad mayor al 10% y las que contengan un 10% o más de grasa se deben desengrasar.

*Los tubos con las muestras deben contener, la muestra, 300mg. de arena del kit y 15 perlas de vidrio de un diámetro de 2-3 mm (kit.). Si el contenido de fibra de las muestras es muy elevado, deben pesarse 100 mg. de muestra.

*La temperatura del baño que contenga la Solución I, no debe exceder los 50°C. (Solución I se prepara tomando 2.5 ml. de la amilasa termoestable y adicionando 200 ml. del buffer de acetato de sodio pre-equilibrado y se mantiene en el baño de incubación a 50°C. La solución se debe preparar inmediatamente antes de usarse)

*A cada tubo se le adicionan 2 ml. de DMSO, se agitan en el vortex y se tapan. Es muy importante que quede bien mezclado para que no quede material encapsulado.

*Se tiene previamente el baño de incubación a 100°C (92°C).

*Se colocan los tubos en el baño de incubación de 1 en 1 y se dejan 20 seg. (es necesario dejarlos 25 seg. como soporte ya que la temperatura del baño es inferior a 100°C), Se retiran del baño y se vuelven a agitar en el vortex. (Este paso es para evitar que la mezcla se gelatinice). Se vuelven a colocar en el baño y se toman 30 min. de incubación después de colocar el último tubo. Los tubos se deben estar chequeando periódicamente para evitar que se gelatinice la muestra, de ser así, se retiran del baño y se agitan en el vortex.

*La solución II se prepara pesando 1.2 g. de pancreatina y se coloca en un tubo de vidrio de 50 ml., se adicionan 12 ml. de agua, se mezcla inicialmente con el vortex y después se deja en agitación 10 min. con un agitador magnético, después se centrifuga durante 10 min. Se toman 10 ml. del sobrenadante, se colocan en otro tubo de vidrio y se le adicionan 2.5 ml. de pullulanasa y se mezcla en el vortex. La solución se prepara inmediatamente antes de usarse y se mantiene a temperatura ambiente. (Durante la preparación de la Solución II, es importante no tocar la pastilla después de la centrifugación, en caso contrario será necesario centrifugar 10min. más).

*Cuando han transcurrido los 30min. de incubación se sacan los tubos de 1 en 1, se agitan primero en el vortex y después se les adicionan 8ml. de la Sol. I.

(En este paso, así como en todas las agitaciones en el vortex, es importante escuchar el sonido de las perlas). Los tubos se vuelven a introducir en el baño de incubación a 100°C durante 10 min. y se toma el tiempo después de la última adición. (Como el baño no está a 100°C, los tubos se dejaron 15-20 min).

*Transcurrido el tiempo se transfieren todos los tubos al baño de incubación a 50°C, 3 min. (Es importante que los tubos alcancen 50°C, antes de agregar la Sol. II por que sino se desnaturalizan las enzimas, se considera que los tubos tienen está temperatura cuando se pueden tomar con la mano).

*Se adicionan 0.5 ml. de la solución II a cada tubo y se mezclan.

*Se dejan 30 min. en el baño a 50°C y se mezcla cada tubo en intervalos de 10 min. durante 30 min., es decir a los 10, 20 y 30 min.

*Después de este tiempo se transfieren al baño de agua hirviendo y se dejan por espacio de 10 min. con el fin de desnaturalizar las enzimas.

*Los tubos se transfieren a un baño de agua/hielo, para enfriarlos y se les adicionan 0.15ml. de HCl 5M, se mezclan y se introducen nuevamente al baño de hielo.

*Adicionar 40 ml. de etanol absoluto acidificado y se mezclan por inversión. (Para preparar el etanol absoluto acidificado no es necesario agregar 1 ml. HCl 5M + 99.9 ml. de etanol. Se adiciona directamente al frasco de etanol 1 ml. de HCl 5M. El etanol absoluto acidificado es para solubilizar los minerales).

*Los tubos se dejan en el baño de hielo durante 30 min.

*Después se centrifugan durante 10 min. a 1,500 rpm. (las revoluciones correctas son 2,500 rpm.).

*El sobrenadante se remueve por decantación o aspiración por medio de la trampa de vacío.

*Se rompe la pastilla mezclando en el vortex y se adiciona un pequeño volumen de Et-OH 85% acidificado y se vuelve a mezclar. Después se completa el volumen a 50 ml. con la misma solución. Se centrifuga durante 10 min. (Durante la centrifugación los azúcares libres precipitan junto con la muestra, por lo que al hacer los lavados se solubilizan en el etanol y se eliminan).

*Se repite la operación anterior con etanol absoluto acidificado al 85%, después con etanol absoluto y por último con acetona. (En todos los casos después de completar el volumen a 50 ml. se mezcla por inversión).

*Después de el último lavado con acetona, se aspira el sobrenadante y los tubos se sumergen en un baño maría que no exceda de 75°C (65-70°C) y que se encuentre en la campana. Es muy importante que el baño no rebase los 75°C por que las muestras se proyectan a temperaturas mayores. Con este paso se busca evaporar la acetona.

*Los tubos se van mezclando en el vortex hasta escuchar el sonido de las perlas. Hay que tener cuidado de no introducir agua en los tubos que se quedan en el baño al ir retirando los demás tubos para mezclarlos.

*Después de haber evaporado la acetona, la gradilla con los tubos se introduce en un horno a 80°C durante 10 min., esto con el fin de eliminar totalmente cualquier resto de acetona, ya que el grupo -OH de la misma puede reaccionar de igual manera que el grupo -OH de los azúcares reductores con el reactivo de color, incrementando la lectura final, dando falsos positivos.

*En caso necesario, la determinación se puede parar en este punto o antes de agregar los reactivos de color, pero las muestras se deben guardar en refrigeración.

*Después de sacar los tubos del horno se adicionan 5 ml. de ácido sulfúrico 12M a cada tubo y se agitan en el vortex. (El ácido sulfúrico disuelve la pectina soluble que pudiese haber quedado y la celulosa).

*Después de la última adición se introducen en un baño de incubación a 35°C por 30 min. (Hidrólisis y dispersión de celulosa, si la celulosa no se hidroliza en este paso, no lo hará en los siguientes).

*Posteriormente se adicionan 25 ml. de agua destilada, con el objeto de diluir el ácido sulfúrico y pasar de una concentración 12M a 2M, los tubos se introducen en el baño de agua hirviendo durante 1 hora. (En este paso se lleva acabo la hidrólisis de carbohidratos, es importante que el ácido no este concentrado por que sino las muestras se enegresen. Es importante cuidar el volumen de agua adicionado y que los tubos estén bien mezclados antes de colocarlos en el baño de agua hirviendo).

*Los tubos se retiran del baño de agua hirviendo y se colocan en un baño de agua para que se enfrien. (Si algún tubo presentara precipitado disperso se centrifuga durante 3 min., y es algo muy común).

*Al desarrollar el color, se coloca en un tubo 0.5ml. del estandar de azúcar del kit. y 0.5ml. de cada hidrolizado. Se usan dos tubos para blanco a los que se les adiciona 0.5 ml. de ácido sulfúrico 2M. A todos los tubos se les adiciona 0.5 ml. de la solución de dimetil glutarato y se mezcla perfectamente en el vortex. Uno de los tubos correspondientes al blanco se utiliza para checar el pH, el cual no debe ser mayor de 4.0 (3.5-4.0). Si el pH es mayor de 4.0, se debe checar la mezcla de ácido sulfúrico 12M y 2M. Pero si el pH es correcto se adicionan a todos los tubos 0.1 ml. de la solución de pectinasa, se mezclan los tubos en el vortex y se ponen en un baño de incubación a 50°C por 20 min.

*Se sacan los tubos del baño y se enfrían a temperatura ambiente.

*Adicionar 1 ml. del reactivo de color del kit a cada tubo y mezclar. Todos los tubos al mismo tiempo se introducen al baño de agua hirviendo durante 5min.

*Se sacan los tubos del baño y se dejan enfriar a temperatura ambiente, para después adicionar 10 ml. de agua destilada y se mezclan bien por inversión.

*Se lee la absorbancia a una longitud de onda de 530 nm.

PREPARACION DE LA SOLUCION DE DMG:

La pureza del DMG varia de un lote a otro, por lo que es necesario adicionar agua para ajustar la concentración. Cuando mezclamos la Sol. del DMG y ácido sulfúrico 2M, el pH debe ser 3.74-4.0. De no ser así se hace una prueba adicionando de 1 en 1 ml. de agua a la solución de DMG y se checa el pH en cada adición. (La prueba se hace en vasos de pp. de 5 ml., a los cuales se les adiciona 1 ml. de la Sol. de DMG y 1 ml. de Agua).

Cuando se usa un sólo frasco de DMG es necesario anotar cuantos ml. de agua se usan aproximadamente para ajustar el pH y no tener que estar haciendo la prueba de ajuste cada vez que se prepare la Sol. de DMG.

CALCULOS:

La cantidad total de fibra dietaria y la fracción de fibra dietaria insoluble insoluble en gramos de polisacáridos por 100 g. de muestra se calcula como:

$$\frac{A_T \times V_T \times D \times F \times C \times 100}{A_s \times W_T} \times 0.89$$

DONDE:

A _T	ABSORBANCIA DE LA SOLUCION DE LA MUESTRA PROBLEMA
V _T	VOLUMEN TOTAL DE LA SOLUCION DE LA MUESTRA (30)
D	DILUCION (D=1 SI NO HAY DILUCION)
F	FACTOR DE CORRECCION ENTRE LAS DIFERENCIAS DE LA COMPOSICION DE MONOSACARIDOS DE LA MEZCLA DE AZUCAR ESTANDAR Y DE LOS NSP DE DIFERENTES ALIMENTOS VEGETALES: CEREALES (EXCEPTO AVENA), F=0.95; FRUTAS Y VEGETALES NO ALMIDONOSOS, F=1.05; VEGETALES CON ALMIDON, PRODUCTOS DE AVENA Y MUESTRAS DIFERENTES, F=1
C	CONCENTRACION DEL ESTANDAR (mg AZUCAR/ml)
A _s	ABSORBANCIA DEL ESTANDAR
W _T	PESO DE LA MUESTRA (mg)
	0.89 FACTOR PARA LA CONVERSION DE MONOSACARIDOS A POLISACARIDOS (DETERMINADO EXPERIMENTALMENTE).

La cantidad de fibra dietaria soluble se calcula por la diferencia entre la fracción total y la insoluble.