

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y  
ZOOTECNIA  
ESCUELA DE ZOOTECNIA**

**COMPARACIÓN ENTRE DOS MÉTODOS DE  
DETERMINACIÓN DE CONTENIDO ENERGÉTICO  
(CALORIMETRÍA Y ESTIMACIÓN MATEMÁTICA) UTILIZADOS  
EN HARINAS DE MAÍZ  
HB-PROTICTA Y HB-83 PARA ALIMENTACIÓN  
DE CERDOS EN DESARROLLO**

**WELLINGTON OMAR HERNÁNDEZ LÓPEZ**

**LICENCIADO ZOOTECNISTA**

**GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2002**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y  
ZOOTECNIA  
ESCUELA DE ZOOTECNIA**

**“COMPARACIÓN ENTRE DOS MÉTODOS DE DETERMINACIÓN  
DE CONTENIDO ENERGÉTICO (CALORIMETRÍA Y ESTIMACIÓN  
MATEMÁTICA) UTILIZADOS EN HARINAS DE MAÍZ HB-  
PROTICTA Y HB-83 PARA ALIMENTACIÓN DE CERDOS EN  
DESARROLLO”**

**TESIS**

**PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA DE  
LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**POR**

**WELLINGTON OMAR HERNÁNDEZ LÓPEZ**

**COMO REQUISITO PREVIO A OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE**

**LICENCIADO ZOOTECNISTA**

**GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2002**

**JUNTA DIRECTIVA**

**FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

<b>DECANO</b>	<b>M.V. MARIO LLERENA</b>
<b>SECRETARIO</b>	<b>LIC. ZOOT. ROBIN IBARRA</b>
<b>VOCAL PRIMERO</b>	<b>LIC. ZOOT. CARLOS SAAVEDRA</b>
<b>VOCAL SEGUNDO</b>	<b>M.V. FREDY GONZÁLEZ</b>
<b>VOCAL TERCERO</b>	<b>LIC. ZOOT. EDUARDO SPIEGELER</b>
<b>VOCAL CUARTO</b>	<b>BR. JUAN PABLO NAJERA</b>
<b>VOCAL QUINTO</b>	<b>BR. LUZ GARCÍA</b>
<b>ASESORES</b>	<b>DR. RICARDO BRESSANI CASTIGNOLI</b> <b>LIC. LUIS HERNANDO CORADO CUEVAS</b> <b>LIC. JORGE SINAY TIJE</b>

**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

CUMPLIENDO CON LO ESTABLECIDO POR LOS ESTATUTOS DE LA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA PRESENTA A  
CONSIDERACIÓN DE USTEDES EL TRABAJO DE TESIS  
TITULADO:

**“COMPARACIÓN ENTRE DOS MÉTODOS DE DETERMINACIÓN  
DE CONTENIDO ENERGÉTICO (CALORIMETRÍA Y ESTIMACIÓN  
MATEMÁTICA) UTILIZADOS EN HARINAS DE MAÍZ HB-PROTICTA  
Y HB-83 PARA ALIMENTACIÓN DE CERDOS EN DESARROLLO”**

QUE ME FUERA APROBADO POR LA JUNTA DE DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA  
PREVIO A OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

**LICENCIADO EN ZOOTECNIA**

**TESIS QUE DEDICO A**

**MI PATRIA GUATEMALA**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA**

**ESCUELA DE ZOOTECNIA**

**CENTRO UNIVERSITARIO DE SUR ORIENTE**

**A MIS ASESORES**

DR. RICARDO BRESSANI CASTIGNOLI  
LIC. LUIS CORADO CUEVAS  
LIC. JORGE SINAY TIJE

**A MIS CATEDRÁTICOS**

A TODOS CON MUCHO APRECIO Y ADMIRACIÓN

**AGRADECIMIENTO ESPECIAL**

DR. SALVADOR CASTELLANOS

Centro Internacional Para El Mejoramiento De Maíz Y Trigo (CIMMYT)

ING. MARIO FUENTES

Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA)

DR. LUIS MOREIRA

Gerente de Empresa TOLEDO S.A.

LABORATORIO DE BROMATOLOGÍA DE ESTA FACULTAD

GRANJA DE CERDOS DE ESTA FACULTAD

INSTITUTO DE REPRODUCCIÓN DE ESTA FACULTAD

Por su valiosa colaboración para la realización de esta tesis

## **ACTO QUE DEDICO**

### **A DIOS**

“Mi vida está apegada a ti, tu diestra me ha sostenido” (Salmo 63:8)

### **A MIS PADRES**

Benedicto Antonio Hernández Urugutia  
Dora Mirtala López Cardona.

### **A LA MEMORIA DE MIS ABUELOS**

Jesús Hernández Medina  
Elisa Urugutia López de Hernández  
Manuel de Jesús López Salguero  
Maria del Carmen Cardona López De López

### **A MIS HERMANOS**

Antonio, Elisa, Beatriz, Daniel y Regina.

## **A MIS SOBRINOS**

Alex, Michelle, Rodrigo, Joselin y Sofía Alejandra.

## **A MIS TÍOS Y PRIMOS**

A todos con mucho cariño.

## **AL DR. FÉLIX KELLER**

Por sus sabios y oportunos consejos.

## **A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS**

Tanto de Jalapa como de Guatemala

# **ÍNDICE**

## **I. INTRODUCCIÓN**

## **II. HIPÓTESIS**

## **III. OBJETIVOS**

3.1. General

3.2. Específicos

## **IV. REVISIÓN DE LITERATURA**

4.1. Unidades energéticas

4.2. Calor de combustión o energía Bruta (EB

4.2.1. EB Calorimétrica

4.2.2. EB estimada matemáticamente

4.3. Energía Digestible (ED)

4.4. Nutrientes digestibles totales (TND)

4.5. Energía Metabolizable (EM)

4.6. Valor Biológico Aparente de la proteína (VBA)

4.7. Variedades de Maíz HB-Proticta y HB-83 (*Zea Mays*)

## **V. MATERIALES Y MÉTODOS**

5.1. Localización

5.2. Metodología

- 5.2.1. Jaulas metabólicas
  - 5.2.2. Manejo de los animales
  - 5.2.3. Manejo de la alimentación
  - 5.2.4. Manejo de las excretas
  - 5.2.5. Desarrollo de las actividades
  - 5.3. Análisis de laboratorio
    - 5.3.1. Calorimetría
    - 5.3.2. Químico Proximal
  - 5.4. Estimaciones matemáticas
    - 5.4.1. Cálculos matemáticos según Universidad de Florida
    - 5.4.2. Determinación matemática de Energía Bruta según Cañas y Aguilar
    - 5.4.3. Determinación de valores energéticos *in vivo* según Maynard
    - 5.4.4. Factores de relación entre variables
    - 5.4.5. Valor Biológico Aparente de la proteína según Maynard
  - 5.5. Tabulación de datos
  - 5.6. Rutas para determinación de valores energéticos
  - 5.7. Variables medidas
  - 5.8. Diseño experimental
- VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN
- 6.1. Análisis de los alimentos
  - 6.2. Consumos de alimento y excreciones
  - 6.3. Determinación de Nutrientes Digestibles Totales (TND)
    - 6.3.1. Digestibilidad aparente de los alimentos
    - 6.3.2. Determinación de TND% *in vivo*
    - 6.3.3. Determinación de TND% matemático
    - 6.3.4. Comparación estadística entre los métodos de determinación
  - 6.4. Determinación de Energía Digestible (ED)
    - 6.4.1. Determinación de ED *in vivo*
    - 6.4.2. Determinación de ED matemática
    - 6.4.3. Comparación estadística entre los métodos de determinación
  - 6.5. Determinación de Energía Metabolizable (EM)
    - 6.5.1. Determinación de EM *in vivo*
    - 6.5.2. Determinación de EM matemática
    - 6.5.3. Comparación estadística entre métodos
  - 6.6. Factores de conversión entre variables
  - 6.7. Comparación nutricional de materiales evaluados
    - 6.7.1. Valor Biológico Aparente de la proteína
    - 6.7.2. Comparación estadística entre materiales evaluados
  - 6.8. Determinación de Energía Bruta
    - 6.8.1. Determinación de EB matemática
    - 6.8.2. Determinación de EB calorimétrica

- VII. CONCLUSIONES
- VIII. RECOMENDACIONES
- IX. RESUMEN  
ABSTRACT (inglés)
- X. BIBLIOGRAFÍA
- XI. ANEXOS

## ÍNDICE DE TABLAS

- TABLA 1** Manejo de alimento, marcadores y recolección de excretas durante experimento.
- TABLA 2** Variables incluidas en el experimento.
- TABLA 3** Resultado de análisis químico proximal de los materiales evaluados y sus repeticiones.
- TABLA 4** Promedio de Consumos y Excreciones diarias en los 4 días de la fase de recolección
- TABLA 5** Digestibilidades aparentes de los distintos componentes del análisis bromatológico
- TABLA 6** Determinación de TND% *in vivo*. en maíz HB-83.
- TABLA 7** Determinación de TND% *in vivo* en maíz HB-Proticta.
- TABLA 8** Valores de TND% de materiales evaluados.
- TABLA 9** Comparación estadística entre los métodos matemático e *in vivo* en la variable TND%
- TABLA 10** Comparación estadística entre los métodos matemático e *in vivo* en la variable ED.
- TABLA 11** Balance Energético.
- TABLA 12** Comparación estadística entre los métodos matemático e *in vivo* en la variable EM.
- TABLA 13** Factores de conversión entre variables

**TABLA 14** Balance de Nitrógeno.

**TABLA 15** Comparación estadística entre materiales evaluados.

**TABLA 16** Valores de Energía Bruta obtenidos a partir de análisis Químico Proximal.

**TABLA 17** Valores de Energía Bruta obtenidos a partir de análisis Calorimétrico.

**TABLA 18** Comparación estadística entre los métodos matemático y calorimétrico en la para harinas y cerdazas de materiales evaluados.

## **I. INTRODUCCIÓN**

Un aspecto nutricional que ha generado dificultades en su determinación, es el del aporte energético de los insumos empleados para la formulación de alimentos animales en el medio guatemalteco, utilizándose como regla general la realización de un Análisis Químico Proximal, obteniendo el valor energético por una relación matemática propuesta por la Universidad de Florida, ante la existencia de una alta correlación entre los Nutrientes Digestibles Totales (TND%) y la energía digestible aparente (ED) de dichos alimentos. El problema existe debido a que todos los índices energéticos utilizados en nutrición de porcinos parten de la relación entre estas dos variables.

En este trabajo se buscó establecer si el método matemático es adecuado a nuestro medio, en comparación con los resultados obtenidos en el sistema Calorímetro Adiabático, el cual brinda una información precisa. Esta evaluación se realizó utilizando dos ingredientes cuyas características, desde este punto de vista se conocen poco, tales como las variedades de maíz HB-Proticta y HB-83. El primero es una variedad con mayor contenido de los aminoácidos Lisina y Triptófano que el HB-83 y de gran potencial para la alimentación de cerdos; y el último, la variedad más popular entre los agricultores nacionales.

Esta información será de gran beneficio a los nutricionistas encargados de formular alimentos para animales ya que contarán con datos más confiables sobre el contenido calórico de las materias primas disponibles y podrán tomar decisiones sobre la compra de ingredientes de acuerdo a una información nutricional más adecuada.

## II. HIPÓTESIS

- ✓ Los valores energéticos de harinas de maíz estimados matemáticamente, son similares a los obtenidos basándose en las observaciones *in vivo* en términos de Nutrientes Digestibles Totales (TND), Energía Digestible (ED) y Energía Metabólica (EM) en cerdos en desarrollo.
- ✓ El valor nutricional del maíz HB-Proticta es superior al del maíz HB-83 en términos de Nutrientes Digestibles Totales (TND), Energía Digestible (ED), Energía Metabólica (EM) y Valor Biológico Aparente de la proteína(VBA), en cerdos en desarrollo.

## **III. OBJETIVOS**

### **3.1. General**

- ✓ Generar información bromatológica sobre materias primas para alimentación animal en Guatemala.

### **3.2. Específicos**

- ✓ Comparar los valores energéticos de las harinas de los maíces HB-Proticta y HB-83 obtenidos por Calorimetría, con los obtenidos basándose en la estimación matemática, en términos de Energía Digestible (ED) y Energía Metabolizable (EM) en cerdos en desarrollo.
- ✓ Comparar los valores de Nutrientes Digestibles Totales (TND) de harinas de maíces HB-Proticta y HB-83 obtenidos por una determinación *in vivo* con los obtenidos a partir de estimación matemática en cerdos en desarrollo.
- ✓ Evaluar la aplicación de la fórmula de predicción de la energía bruta a partir de Análisis Químico Proximal para las harinas de los maíces HB-Proticta y HB-83, en cerdos en desarrollo.
- ✓ Establecer las características bromatológicas de las harinas de los maíces HB-Proticta y HB-83 en cerdos en desarrollo en términos de proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda, cenizas, extracto libre de nitrógeno y valor biológico aparente de la proteína.
- ✓ Comparar el valor nutricional de la harina de maíz HB-Proticta con la de maíz HB-83 en cerdos en desarrollo en términos de proteína cruda y valor biológico aparente de la proteína.

## IV. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1. Unidades Energéticas

La importancia de la energía en la alimentación animal radica en que a partir del consumo de energía necesaria se determina la ración que se debe suministrar, la cual, a su vez, fija el nivel de nutrimentos por kilogramo de la ración (Necesidades Nutritivas, 1973).

Específicamente se sabe que cantidades equivalentes de las diferentes formas de energía rinden igual cantidad de calor (primera ley de la termodinámica). Por lo tanto, todas las formas de energía pueden entonces ser representadas como unidades de calor (calorías). La Caloría es la unidad de calor requerido para elevar un grado centígrado la temperatura de un gramo de agua a partir de 14.5°C. Sin embargo, a pesar que el calor específico del agua puede cambiar con la temperatura, una caloría puede definirse como el equivalente a 4.184 Joule (Sist. Métrico). En la práctica la caloría es inconvenientemente pequeña y por lo tanto es reemplazada por la Kilocaloría (Kcal) que corresponde a 1000 calorías y la Megacaloría (Mcal), equivalente a 1000 Kcal. Todos los cuerpos tienen una capacidad calórica (Cc) constante y propia que equivale al producto del calor específico por su masa. El cambio de un estado a otro con ganancia o pérdida de energía del sistema se rige por la leyes de termodinámica (Cañas y Aguilar, 1990).

### 4.2. Calor De Combustión o Energía Bruta (EB)

En los procesos fisiológico se libera calor como producto final y no como fuente de poder para ellos. Cuando una sustancia es incinerada hasta los productos finales de la oxidación (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y Cenizas), el calor así desprendido es llamado calor de combustión o energía bruta ( $\Delta E$  en termodinámica). La ecuación esquemática que representa la energía bruta consumida (EB) de un alimento es:

$$EBc = MS \text{ alimento consumido} \times EB / MS \quad (\text{Cañas y Aguilar, 1990}).$$

#### 4.2.1. EB calorimétrica

El instrumento utilizado comúnmente para medir el valor energético de los alimentos (EB/MS) se llama Bomba Calorimétrica. Su función básicamente consiste en la combustión de una muestra de alimento, mediante la ignición con un conductor eléctrico conectado a una bomba o cámara inyectada con O<sub>2</sub>, la cual contiene la muestra a analizar.

Esta bomba esta sumergida en un balde con agua a temperatura ambiente. La muestra contenida en la cámara al incinerarse desprende calor, calentando el agua circundante y provocando un cambio de temperatura del agua, registrado en un termómetro. Existen actualmente ciertas Bombas Calorimétricas que funcionan de manera automática, en las que únicamente se prepara la muestra y el valor energético es presentado en una pantalla (Maynard *et al*, 1993).

#### 4.2.2. EB estimada matemáticamente

Usando los resultados del método de Weende (análisis químico proximal), la EB puede predecirse ( $DS \pm 0.2$ ) usando la siguiente ecuación:

$$EB \text{ (Mcal/Kg)} = 0.0065 PC + 0.0094 EE + 0.00415 FC + 0.00415 ELN$$

Donde: PC = Proteína cruda (g /g MS), EE = Extracto etéreo (g/Kg MS),  
FC = Fibra Cruda (g/Kg MS), ELN = Extracto libre de nitrógeno (g/Kg MS).

Los coeficientes en la ecuación corresponden a los valores de combustión planteados por Atwater y Bryant y están indicando que el contenido de proteína cruda y extracto etéreo son las variables que tienen mayor influencia en el contenido de EB de un alimento. (Cañas y Aguilar, 1990)

### 4.3. Energía Digestible (ED)

El término "Digestión" indica todos los procesos que ocurren al alimento cuando se encuentra en el tracto digestivo. Estos se pueden resumir en hidrólisis enzimática y química, emulsión, suspensión coloidal y síntesis. Los productos finales de esta digestión pueden ser absorbidos, volatilizados como gases y/o calor y eliminados vía boca o ano o excretados en las heces.

La digestibilidad de un nutriente indica la porción de este nutriente que es digerido y absorbido y en consecuencia no aparece en las materias fecales. Existen varios métodos para determinar el coeficiente

de digestibilidad de un nutriente, haciendo en referencia en particular a la energía digestible (Cañas y Aguilar 1990).

Uno de los métodos *in vivo* para obtener la energía digestible de un alimento involucra ensayos de digestibilidad en los cuales se mide la energía bruta de los alimentos que se están ingiriendo diariamente y de las heces fecales recolectadas. Por diferencia se obtiene la "Energía digestible total aparente".

$$EDt \text{ (Kcal)} = EB \text{ alimento} - EB \text{ Materias fecales}$$

A partir de esta ecuación podemos establecer que la digestibilidad de la energía corresponde a la razón entre ED y EB (ED/EB) (Cañas y Aguilar, 1990). Este método es relativamente fácil de aplicar, pero requiere que el animal se alimente con la ración a evaluar en forma constante durante un periodo preliminar para cerdos de al menos tres días (Sibbald, 1987).

El termino aparente en este método está indicando que existe una porción de la energía de las heces fecales que no proviene del alimento y consiste en fluidos digestivos y células descamadas de la mucosa intestinal, denominada "Energía metabólica fecal". Por otra parte, durante el proceso de digestión se liberan productos gaseosos que incluyen gases combustibles producidos en el tracto digestivo durante la fermentación de la ración. Denominaremos esta fracción como "Energía de gases de digestión" ó "EG" (Cañas y Aguilar, 1990).

La ED real corresponde, por lo tanto, a la diferencia entre la energía aparente y estas dos perdidas de energía que se genera en este proceso. Las perdidas gaseosas implícitas (EG), por lo general no son consideradas en cerdos para llegar a determinar este valor por ser insignificantes (Maynard *et al*, 1993)

$$ED \text{ real} = EB \text{ alimento} - EB \text{ heces} - EMF - EG$$

Si bien es cierto, en un desglose exhaustivo, la ED real representa lo que realmente ocurre con el alimento después del proceso de digestión. Cañas y Aguilar (1990), indican que la EMF es parte del cuerpo del animal y por consiguiente es considerado dentro del cálculo de requerimiento energético, por esto, la digestibilidad aparente adquiere mayor relevancia que la digestibilidad real bajo este punto de vista.

#### 4.4. Nutrientes Digestibles Totales (TND)

Alrededor del año 1900 un equipo de investigadores en Vermont y Wisconsin(U.S.A.), acuñaron la frase "Nutrientes digestibles Totales",("Total Digestibility Nutrients' TND en inglés ). Ellos la definieron como la suma de los valores energéticos de la proteína digestible, grasas y carbohidratos encontrados en una muestra de alimento (Jahns, 1999).

Este método se basa también en ensayos de digestibilidad, pero a diferencia del anterior se hace un análisis tanto del contenido de nutrientes del alimento que se ingiere como de las materias fecales. El coeficiente de digestibilidad de cada nutriente (determinado por análisis de Weende) debe ser determinado mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ De Digestibilidad} = \frac{\text{Nutriente Consumido} - \text{Nutriente Heces}}{\text{Nutriente consumido}} \times 100$$

A partir de esta ecuación se puede determinar el porcentaje de nutrientes digestibles:

$$\% \text{ Nutriente digestible} = \% \text{ Nutriente en alimento} \times CD$$

La sumatoria de los nutrientes energéticos digestibles representa los elementos nutritivos digestibles totales:

$$TND\% = PCD\% + (EED\% \times 2.25) + ELND\% + FCD\% \quad (\text{Maynard } et \text{ al}, 1993)$$

donde: PCD = Proteína cruda digestible; FCD = Fibra cruda digestible.  
ELND = Extracto no nitrogenado digestible;  
EED = Extracto etéreo digestible;

El TND expresa el valor relativo de energía de los alimentos. El factor de 2,25 permite aproximar el valor calórico de las grasas comparado con los carbohidratos y proteínas (Cañas y Aguilar, 1990).

La Universidad de Florida (McDowell *et al*, 1974), ha hecho la propuesta para calcular el porcentaje de TND de un alimento energético para alimentación de cerdos:

$$TND \% = 8.792 - 4.464(FC) + 4.243(EE) + 0.866(ELN) + 0.388(PC) + 0.0005(FC)^2 + 0.122(EE)^2 + 0.063(FC)(ELN) - 0.073(EE)(ELN) + 0.182(EE)(PC) - 0.011(EE)^2(PC).$$

Donde: TND = Nutrientes digestibles Totales; FC = Fibra cruda;

EE = Extracto Etéreo;

PC = Proteína Cruda;

ELN = Extracto libre de Nitrógeno.

Schneider(1954), citado por Cañas y Aguilar(1990), menciona que existe una alta correlación ( $r=0.97$ ) entre los TND y la energía digestible aparente de los alimentos, encontrando además que cada gramo de TND equivale a 4.4 Kcal de energía digestible. Este factor actualmente está ajustado a 4.41 para todas las especies (Maynard *et al* 1993).

Andrews(1971), indica que los nutricionistas están bien enterados de que el uso de factores no es aplicable a todos los alimentos, que es necesario contar con información específica para cada ingrediente y para cada país, donde la composición de las dietas y sus digestibilidades pueden ser diferentes; cosa confirmada por McDowells *et al* (1974), que nos indican además que al existir suficiente información individual disponible de los ingredientes, los valores de TND pueden ser desechados.

Cañas y Aguilar( 1990), dicen que el sistema TND ha recibido una fuerte crítica por ocupar el coeficiente de digestibilidad de los nutrientes determinados por el método proximal de Weende. A pesar de ser este método de análisis legalmente usado en los Estados Unidos y Latinoamérica, existe en el presente una serie de comités encargados de desarrollar y recomendar una técnica más apta para la evaluación de dietas animales.

Según Maynard *et al* (1993), en 1952 se revisaron estos estudios iniciales, para el desarrollo de los valores de TND empleados en la actualidad, y señalaron algunas de las complicaciones o empleos equivocados en los que se había incurrido, encontrando que desde el punto de vista científico no es apropiado continuar con el uso de una medida que no explica claramente lo que implica.

Además la bibliografía más antigua contiene fórmulas incorrectas para calcular ED a partir de TND, que se basan en la suposición que el TND toma en cuenta sólo las pérdidas por digestión.

Jahns(1987) comenta, que los valores resultantes de TND si son aplicables a los que tienen explotaciones pequeñas, pero que en realidad sobreestima un poco el valor energético real del alimento evaluado; esto es porque falla al no tomar en cuenta las pérdidas por orina y gases así como por otros factores.

#### **4.5. Energía Metabolizable (EM)**

La Energía Metabolizable corresponde a la porción de la energía que el animal puede utilizar para procesos fisiológicos como mantenimiento y producción, y que por lo tanto, sufre transformaciones en el cuerpo.

Desde el punto de vista convencional la EM puede ser definida como la Energía Bruta menos las pérdidas de energía en gases (EG), Heces Fecales (EBh) y Energía Urinaria (EU), que incluye la porción no utilizada de los nutrientes absorbidos (Cañas y Aguilar, 1990).

$$EM = EB - (EG + EBh + EU)$$

La porción de energía contenida en la orina es el resultado de la excreción de productos nitrogenados que no han sido completamente oxidados, principalmente urea ( $CO(NH^2)^2$ ). La otra porción de la energía excretada en orina es de origen endógeno (EUE), que proviene del cuerpo y no de origen alimenticio (Cañas y Aguilar, 1990).

Las maneras de obtener este valor son directa e indirecta. Directa es mediante una evaluación metabólica e indirecta, es mediante el uso de factores de conversión a partir de TND y ED. Existen valores determinados de EM solo para muy pocos alimentos (Maynard *et al*, 1993).

La Universidad de Florida (McDowell *et al*, 1974) indica que para cerdos el factor de cálculo encontrados es:

$$EM \text{ (Kcal/Kg)} = (0.96 - 0.00202 \times PC) \times ED$$

El cálculo de la EM usando ecuaciones matemáticas es más difícil de determinar que la ED. En las Tablas de la Florida (McDowell *et al*, 1974), la información que se tiene no proviene de evaluaciones directas sino de indirectas, situación que deja en duda su veracidad (ANS 311...#14, 2000). Sin embargo la EM se considera un valor más adecuado para la formulación de alimentos, por su grado de certeza (Jahns, 1999). Como se mencionó antes, la bibliografía más antigua contiene fórmulas incorrectas para calcular EM (Maynard *et al*, 1993).

#### **4.6. Valor Biológico Aparente de la proteína (VBA)**

Es una medida de la calidad de la proteína, y se determina en un estudio con animales en el cual se mide el porcentaje de la proteína ingerida que es realmente utilizada. Esta medida, en ocasiones se expresa como el porcentaje de la ingesta que es retenido. Este procedimiento mide la eficiencia que tiene la proteína absorbida para proveer los aminoácidos necesarios para la síntesis de la proteína corporal. Mediante el empleo de esta medida, se logra determinar el verdadero valor nutricional de un alimento. Este cálculo se puede hacer como se indica a continuación:

$$VBA \% = \frac{\text{Nitrógeno ingerido} - \text{Nitrógeno fecal} - \text{Nitrógeno urinario}}{\text{Nitrógeno ingerido}} \times 100$$

#### **4.7. Variedades de Maíz HB-Proticta y HB-83 (*Zea mays*)**

El maíz es el ingrediente predilecto en Centroamérica, tanto para la alimentación humana como animal, ya que no presenta restricciones nutricionales y porque normalmente se deja libre en la formulación de raciones para todas las especies de animales domésticos. Su principal limitante es su costo, aunque también su disponibilidad en aquellos países no productores de sorgo, por lo que en ciertas ocasiones se limita el nivel de inclusión en la dieta o bien la computadora por el precio no lo usa (Campabadal y Navarro, 1994).

Actualmente existe a nivel nacional, el híbrido de grano blanco "HB-Proticta", desarrollado por el Instituto de Ciencias y Tecnología Agrícolas (ICTA) y el Centro Internacional de Maíz y Trigo (CIMMYT). Este nuevo híbrido se desarrollo a través del mejoramiento genético incorporando el gen Opaco-2 a maíces nacionales de características comprobadas. Se cree que posee derivado de este gen mejor cantidad y calidad de proteína en comparación al resto de variedades de maíz. Este índice de calidad esta representado por la presencia de niveles adecuados para la alimentación de los aminoácidos Lisina y Triptófano. El HB-Proticta, de excelentes características de adaptación, presenta un buen potencial de rendimiento y características agronómicas y de grano deseables (CIMMYT-Purdue, 1990).

El maíz HB-83 es uno de los híbridos blancos mas difundidos en el país por sus excelentes características productivas, agronómicas y de calidad de grano.

## **V. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **5.1. Localización**

El estudio se llevó a cabo en las instalaciones del Instituto de Reproducción de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de San Carlos de Guatemala, el cual se encuentra dentro de la zona de vida "Bosque húmedo subtropical templado" a una altura de 1551.5 msnm., con una temperatura media anual de 20° a 26° centígrados y una precipitación pluvial que oscila entre 1,100 a 1345 mm /año(Cruz, 1982). Todos los análisis se realizaron en el Laboratorio de Bromatología de la Escuela de Zootecnia de esta misma facultad.

### **5.2. Metodología**

#### **5.2.1. Jaulas metabólicas.**

Se elaboraron 6 jaulas de metal de 50 cm. de ancho, por 1 metro de largo y 75 cm. de alto (0.375 m<sup>3</sup>), con piso de reja metálico y elevado a 45 centímetros del suelo, cada una con su comedero y bebedero individual. Fueron colocadas en un área bajo techo con buena ventilación y aisladas del medio ambiente para evitar la influencia de factores que pudieran afectar el experimento.

Además del piso artificial, se elaboraron unas estructuras de varilla de hierro y plástico, con desniveles opuestos, uno al frente, para eliminar el agua del bebedero, y el segundo desnivel hacia atrás para recolectar la orina. Se busco la distancia máxima a la que el cerdo macho expulsa la orina de su prepucio para colocar el punto medio de los desniveles. En el extremo distal de la jaula se colocó un recipiente plástico de un diámetro de 40 centímetros y con capacidad de 4 litros, a fin de recolectar en este la orina de todo un día. Para asegurar que estas estructuras funcionaran bien, se evaluaron durante 30 días, para afinar el funcionamiento de las estructuras y prevenir errores durante la fase experimental.

### **5.2.2. Manejo de los animales.**

Se utilizaron 6 cerdos machos en la etapa de desarrollo de 2 a 2.5 meses de edad, con un peso promedio de 35 Kg, del cruce racial Landrace X Yorkshire X Duroc, los que previo a ser ingresados en el experimento fueron evaluados en los primeros días de la fase de adaptación al medio para determinar si eran aptos en cuanto a conducta para las condiciones del experimento (Restricción de alimento, confinamiento total y poca movilidad). Antes de ingresar al área experimental a estos animales se les desparasitó y se verificó su óptimo estado de salud. La temperatura en el área de las jaulas alcanzó durante los días de la fase experimental, los 23° C. al medio día. A los animales se les identificó por su número correlativo de granja.

Un aspecto que resultó clave para minimizar el estrés de estos animales fue la restricción total del ingreso al área experimental de personas ajenas al experimento durante las fases de adaptación y evaluación. Inicialmente se utilizaron “juguetes” como distractores, pero esto no funcionó pues causaba un afecto adverso. Al final de la aplicación de todas estas mejoras se logró que los animales se mantuvieran todo el día tranquilos y en reposo, levantándose únicamente para consumir sus alimentos y beber.

### **5.2.3. Manejo de la alimentación.**

La distribución de los ingredientes en los cerdos se realizó mediante el método del sobre-cambio, para minimizar el error experimental, alternando los ingredientes en los dos periodos. En cuanto al consumo de alimento, se buscó la manera de suministrar una cantidad acorde al 75% del gasto energético basal de los mismos (1.38 Kg /animal/ día), sin embargo se llegó a 1 Kg / animal/ día (base fresca) basándose en los ajustes efectuados. Se dieron dos raciones diarias de 500 gramos cada una, la primera a las 7:00 a.m. y la segunda a las 3:00 p.m. Asimismo mismo, se decidió dar el alimento húmedo a una proporción de **2:1** (maíz /agua) para evitar el desperdicio de alimento. El alimento no consumido de la ración fue retirado, pesado y descontado de la ración. Durante todo el experimento los animales tuvieron agua fresca y constante.

### **5.2.4. Manejo de las excretas**

Durante el periodo experimental se hizo la recolección diaria de las heces de cada animal, las que fueron pesadas en fresco y refrigeradas en su totalidad. Al final del experimento las 24 muestras fueron secadas, molidas y homogeneizadas a fin de tener una muestra por animal y por periodo para análisis de laboratorio. Se utilizó como marcador de heces Carmín en la ración de maíz de cada animal, tanto para el primer día del experimento como para el primer día después del periodo experimental. La estructura de varilla y plástico facilitó la recolección de las heces, evitando que se precipitaran al suelo, en donde fácilmente se hubieran contaminado.

Con la orina se hizo la recolección mediante el recolector de orina y los recipientes plásticos (ver inciso 4.2.1.), añadiéndole 10 ml de ácido sulfúrico al 10% a cada recolector para evitar la volatilización y deterioro biológico de la orina; 24 horas después se hizo la medición del volumen total de orina. Del total recolectado en el día, se tomaron 100 ml de muestra por animal por día, los que se colocaron en un envase con el equivalente a los cuatro días de cada periodo (400 ml.), para refrigeración y posterior análisis en el laboratorio.

### **5.2.5. Desarrollo de las actividades**

A continuación (Tabla 1). se describe cronológicamente el desarrollo de las actividades del experimento (Sibbald, 1987).

#### ✓ Preparación del experimento

Con la información obtenida acerca de los componentes básicos de una jaula metabólica, se elaboraron las jaulas para los propósitos específicos de este experimento. Se analizó la forma correcta de realizar la recolección de las heces y orina, la disposición de los comederos y bebederos, el sitio adecuado para la disposición de las jaulas y la obtención de los materiales a evaluar.

#### ✓ Evaluación de la Jaula

Desde el día primero del experimento al día 30 se realizó la evaluación del funcionamiento de los componentes de las jaulas metabólicas mediante la verificación de su funcionamiento con animales, momento en el que se hicieron los ajustes precisos al recolector de orina.

#### ✓ Adaptación al medio

Del día 31 al 45 se realizó esta etapa, ingresando los seis cerdos seleccionados para adaptarlos a las condiciones del experimento (Restricción de alimento, confinamiento total y poca movilidad). Durante esta etapa se ofreció alimento balanceado y no se realizó ninguna recolección de excretas.

✓ Adaptación al alimento 1er. Periodo

Del día 46 al 48 se empezó el suministro de los materiales a evaluar para eliminar del tracto intestinal los residuos del alimento balanceado previo a la fase de recolección. Durante esta etapa no se hizo la recolección de excretas. El último día de esta etapa por la mañana se agregó el marcador de heces (Carmín).

✓ Recolección 1er. Periodo

En esta etapa de los días 49 al 52, se ofrecieron los materiales evaluados. De las excretas se empezó a recolectar únicamente el material fecal coloreado de rojo, el que con cada día se fue desvaneciendo hasta el final de esta etapa. El día final de esta etapa (52) por la mañana se ofreció nuevamente el marcador de heces en la ración para determinar el final del experimento. La orina se estuvo recolectando desde la mañana del día 49 a la mañana del día 53.

✓ Descanso

Esta etapa duró del día 53 al 58. A los animales se les ofreció alimento balanceado a libre consumo para recuperarlos de la dieta restringida. La orina no se recolectó y de las heces, se estuvieron recolectando todas las heces color marrón, suspendiendo la recolección al aparecer las heces rojas.

✓ Adaptación al alimento 2do. Periodo

Del día 59 al 61 se reinició el suministro de los materiales a evaluar para eliminar del tracto intestinal los residuos del alimento balanceado previo a la fase de recolección. Aquí se hizo el sobre-cambio de los alimentos. Durante esta etapa no se hizo la recolección de excretas. El último día de esta etapa por la mañana se agregó el marcador de heces (Carmín).

✓ Recolección 2do. Periodo

En esta etapa de los días 62 al 65, se ofrecieron los materiales evaluados. De las excretas se empezó a recolectar únicamente el material fecal coloreado de rojo, el que con cada día se fue desvaneciendo hasta el final de esta etapa. El día final de esta etapa (65) por la mañana se ofreció nuevamente el marcador de heces en la ración para determinar el final del experimento. La orina se recolectó desde la mañana del día 62 a la mañana del día 66.

✓ Descanso y Final

Esta etapa empezó el día 66. A los animales se les ofreció nuevamente alimento balanceado a libre consumo para recuperarlos de la dieta restringida. La orina ya no se recolectó y de las heces, se estuvieron recolectando todas las heces color marrón, suspendiendo la recolección al aparecer las heces rojas. El día 68 por la mañana los animales fueron devueltos a la granja experimental.

### **5.3. Análisis de laboratorio:**

Los análisis de laboratorio se realizaron de la siguiente manera:

#### **5.3.1. Calorimetría**

Se tomaron muestras representativas de los dos materiales de Maíz a ser evaluados, así también de la orina y heces de cada animal y de cada periodo, las que fueron sometidas a combustión para obtener el valor de Energía Bruta (EB) individual de cada componente.

Para la determinación del contenido energético de la orina (EB), se realizó la determinación desecando 1 ml. de orina en un sustrato de 0.5 g. de almidón de papa, obteniendo el resultado de Energía Bruta (EB) por diferencia entre estos componentes (Bateman, 1970). Vale la pena mencionar que la orina no se deterioró biológicamente al secarla por la adición previa del ácido sulfúrico al 10% (ver inciso 5.2.4). El equipo que se utilizó es un calorímetro adiabático marca "IKA" serie C-5000, totalmente automatizado y con refrigeración en seco, reportando valores de calorías por gramo de muestra ajustada a materia seca. Al final se hace la conversión a Kilocalorías por kilogramo para estandarizar los resultados con los de las bibliografías.

#### **5.3.2. Químico proximal**

De los dos materiales de maíz evaluados y de las heces de cada animal, se tomaron muestras para hacer el análisis químico proximal a cada uno, obteniendo las proporciones de materia seca (MS) mediante desecación, extracto etéreo (EE) mediante Goldfish, fibra cruda (FC) mediante Digestión, cenizas mediante incineración, proteína cruda (PC) mediante Kjeldahl y extracto libre de nitrógeno (ELN) por diferencia (Bateman, 1970).

## 5.4. Estimaciones matemáticas

### 5.4.1. Cálculo matemático según la Universidad De Florida:

Con los valores resultantes del Análisis Químico Proximal de los dos materiales de maíz se obtuvo el valor de TND% aplicando la siguiente ecuación:

$$\text{TND\%} = 8.792 - 4.464 (\text{FC}) + 4.243 (\text{EE}) + 0.866 (\text{ELN}) + 0.338 (\text{PC}) + 0.0005 (\text{FC})^2 + 0.122(\text{EE})^2 + 0.063(\text{FC})(\text{ELN}) - 0.073 (\text{EE})(\text{ELN}) + 0.182 (\text{EE})(\text{PC}) - 0.011 (\text{EE})^2 (\text{PC})$$

(McDowell *et al*, 1974)

Donde: TND % = Nutrientes digeribles totales; FC= Fibra cruda; EE= Extracto etéreo; ELN = Extracto libre de nitrógeno; y PC = Proteína cruda.

**TABLA 1** Manejo de alimento, marcadores y recolección de excretas durante experimento.

Día	Fase	Periodo	Alimento	Marcador	Recolección Heces	Recolección Orina
-	Preliminar	-	-	-	-	-
1-30	Evaluación Jaula <sup>(1)</sup>	-	Balanceado	No	No	No
31-45	Adaptación al medio	-	Balanceado	No	No	No
46	Adaptación alimento	1	Maíces	No	No	No
47	Adaptación alimento	1	Maíces	No	No	No
48	Adaptación alimento	1	Maíces	Carmín	No	No
49	Recolección	1	Maíces	No	Rojas	Si
50	Recolección	1	Maíces	No	Rojas	Si
51	Recolección	1	Maíces	No	Todas	Si
52	Recolección	1	Maíces	Carmín	Todas	Si
53-58	Descanso	-	Balanceado	No	No Rojas	No
59	Adaptación alimento	2	Maíces	No	No	No
60	Adaptación alimento	2	Maíces	No	No	No
61	Adaptación alimento	2	Maíces	Carmín	No	No
62	Recolección	2	Maíces	No	Rojas	Si
63	Recolección	2	Maíces	No	Rojas	Si
64	Recolección	2	Maíces	No	Todas	Si
65	Recolección	2	Maíces	Carmín	Todas	Si
66-67	Descanso y Final	-	Balanceado	No	No Rojas	No

1) animales distintos a los usados en fases experimentales.

La energía digerible (ED) se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{ED (Kcal /Kg)} = \text{TND\%} \times 44.09 \quad (\text{McDowell } et al, 1974)$$

La energía metabolizable (EM) se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{EM (Kcal/Kg)} = (0.96 - 0.00202 \times \text{PC}) \times \text{ED} \quad (\text{McDowell } et al, 1974)$$

Donde: PC = Proteína cruda, ED = Energía Digerible, y TND = Nutrientes Digeribles totales

### 5.4.2. Determinación Matemática de Energía Bruta según Cañas y Aguilar:

La Energía Bruta (EB) se calculó a partir de los resultados del Análisis Químico Proximal de las harinas y con la aplicación de la siguiente fórmula matemática.

$$\text{EB (Mcal /Kg)} = 0.0065 \text{ PC} + 0.0094 \text{ EE} + 0.00415 \text{ FC} + 0.00415 \text{ ELN}$$

(Cañas y Aguilar, 1990)

Donde: PC = Proteína cruda, EE = Extracto etéreo, FC = Fibra cruda, ELN = Extracto libre de nitrógeno.

### 5.4.3. Determinación de valores energéticos *in vivo* según Maynard :

El proceso para obtener en TND% fue el siguiente:

$$\begin{aligned}\% \text{Digestibilidad de PC} &= (\text{PC Alimento} - \text{PC heces} / \text{PC Alimento}) \times 100. \\ \% \text{Digestibilidad de EE} &= (\text{EE Alimento} - \text{EE heces} / \text{EE Alimento}) \times 100. \\ \% \text{Digestibilidad de FC} &= (\text{FC Alimento} - \text{FC heces} / \text{FC Alimento}) \times 100. \\ \% \text{Digestibilidad de ELN} &= (\text{ELN Alimento} - \text{ELN heces} / \text{ELN Alimento}) \times 100. \\ \text{PCD \%} &= \text{PC \%} \times (\% \text{digestibilidad de PC} / 100). \\ \text{EED \%} &= \text{EE \%} \times (\% \text{digestibilidad de EE} / 100). \\ \text{FCD \%} &= \text{FC \%} \times (\% \text{digestibilidad de FC} / 100). \\ \text{ELND \%} &= \text{ELN \%} \times (\% \text{digestibilidad de ELN} / 100). \\ \% \text{TND} &= \text{PCD \%} + (\text{EED \%} \times 2.25) + \text{FCD \%} + \text{ELND \%}.\end{aligned}$$

(Maynard *et al*, 1993)

Donde: PCD = Proteína cruda digestible, EED = Extracto etéreo digestible,  
FCD = Fibra cruda digestible, ELND = Extracto libre de nitrógeno digestible.

La Energía Digestible (ED) se obtuvo de la siguiente manera:

$$\text{ED (Kcal/Kg)} = \text{Energía Bruta Alimento} - \text{Energía Bruta Heces} \quad (\text{Maynard } et \text{ al}, 1993)$$

La Energía Metabolizable (EM) se obtuvo de la siguiente manera:

$$\text{EM (Kcal/Kg)} = \text{Energía Digestible} - \text{Energía Orina} \quad (\text{Maynard } et \text{ al}, 1993)$$

### 5.4.4. Factores de relación entre variables:

Para la determinación de los factores de relación entre las variables se usaron las formulas siguientes:

- ✓ De Energía Bruta (EB) a Energía Digestible (ED) o Digestibilidad de la energía:  
F. EB a ED = Energía Digestible / Energía Bruta. (Pigden, Balch, Grahaml, 1980)
- ✓ De Energía Bruta (EB) a Energía Metabolizable (EM) o Metabolizabilidad de la Energía:  
F. EB a EM = Energía Metabolizable / Energía Bruta. (Pigden, Balch, Grahaml, 1980)
- ✓ De Energía Digestible (ED) a Energía Metabolizable (EM):  
F. EB a ED = Energía Digestible / Energía Bruta. (Maynard *et al*, 1993)
- ✓ De Nutrientes Digestibles Totales (TND) a Energía Digestible (ED):  
F. Kg. TND-ED = ED (Kcal/Kg MS) / Kg TND. (Maynard *et al*, 1993)
- ✓ Mega calorías de Energía Digestible por unidad de TND%:  
F. TND-ED = Mcal ED / TND% (Maynard *et al*, 1993)

### 5.4.5. Valor Biológico Aparente de la proteína según Maynard

El Valor Biológico Aparente de la proteína (VBA), se obtuvo *in vivo* mediante la siguiente Formula:

$$\text{VBA} = \frac{\text{Nitrógeno ingerido} - \text{Nitrógeno Fecal} - \text{Nitrógeno de orina}}{\text{Nitrógeno ingerido} - \text{Nitrógeno Fecal}} \times 100.$$

(Maynard *et al*, 1993)

## 5.5. Tabulación de datos

Se elaboró una matriz de datos en la cual se incluyó la información recolectada y estimada para cada animal y para cada periodo.

## 5.6. Rutas para determinación de valores energéticos.

En vista de los resultados obtenidos en este experimento, se plantean las vías a utilizar para obtener los valores energéticos de un alimento según se muestra en la Figura 1.

## 5.7. Variables medidas

Las variables se agruparon en tres tipos de acuerdo con la manera que fueron obtenidas. En la Tabla 2 se detallan cada una de estas, las que fueron determinadas en cada animal, en cada alimento, en cada periodo experimental (4 días) y en cada repetición.

## 1.8 Diseño Experimental

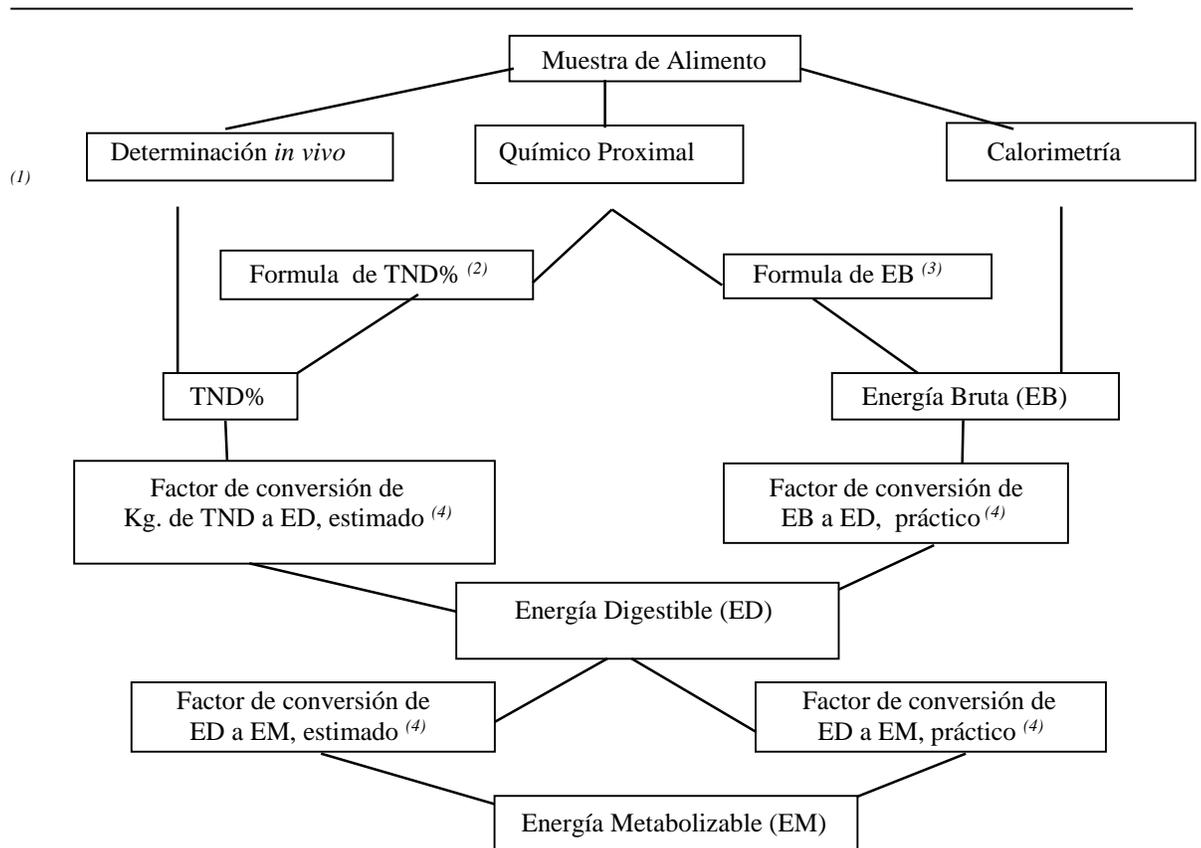
Para el análisis se usó la prueba de hipótesis de T-Student para la comparación entre los dos métodos evaluados (estimación matemática y calorimetría) en los aspectos de TND, EB, ED, EM y PC. Para comparar el efecto de los dos materiales de maíz sobre las variables TND, ED, EM y VBA se utilizó un diseño de cuadrado latino en sobre-cambio. La unidad experimental fue un cerdo.

**TABLA 2** Variables incluidas en el experimento.

Medidas	Determinadas en laboratorio <sup>(1)</sup>	Estimadas <i>in vivo</i> y/ ó matemáticamente
Consumo de la ración	Energía Bruta por Calorimetría	Energía Bruta por Formula
Peso de Heces	Proteína Cruda	Nutrientes Digestibles Totales
Volumen de orina.	Fibra Cruda	Energía Digestible
	Cenizas	Energía Metabolizable
	Extracto Etéreo	Valor Biológico Aparente
	Materia Seca	Proteína Cruda Digestible
	Nitrógeno <sup>(2)</sup>	Fibra Cruda Digestible
		Extracto Etéreo Digestible
		Extracto Libre de Nitrógeno Digestible
		Factor de relación de EB a ED
		Factor de relación de EB a EM
		Factor de relación de ED a EM
		Factor de relación de TND% a ED
		Factor de relación de TND% a EM
		Mcal de ED por Kilogramo de TND

(1) En alimento, Heces y orina. (2) Solo en orina.

**FIGURA 1** Vías para la determinación de la Energía Metabolizable de los Alimentos (ANS:311...#14,. 2000).



Donde: TND% = Nutrientes Digestibles totales. EB = Energía Bruta en kcal/kg. ED = Energía Digestible en kcal/kg.

## VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1. Análisis de los alimentos

En la Tabla 3 se presentan los resultados de los análisis químico proximales practicados a las harinas de los alimentos evaluados.

**TABLA 3** Composición químico proximal de los materiales evaluados y su repetición (en porcentajes de materia seca).

Componentes	Maíz HB-83			Maíz HB-Proticta		
	1	2	Promedio	1	2	Promedio
Agua %	13.6	12.9	<b>13.25</b>	11.70	11.80	<b>11.75</b>
Materia Seca %	86.4	87.1	<b>86.75</b>	88.30	88.20	<b>88.25</b>
Extracto etéreo %	4.01	5.20	<b>4.61</b>	6.17	5.85	<b>6.01</b>
Fibra cruda %	3.01	3.07	<b>3.04</b>	3.07	3.28	<b>3.18</b>
Proteína cruda %	9.28	9.17	<b>9.23</b>	10.80	10.41	<b>10.61</b>
Cenizas %	1.78	1.74	<b>1.76</b>	1.78	1.92	<b>1.85</b>
Extracto Libre de Nitrógeno %	81.92	80.82	<b>81.37</b>	78.18	78.54	<b>78.36</b>

En una evaluación similar Manner (citado por CIMMYT-PURDUE, 1990) encontró valores de proteína cruda de 8.6 a 8.9% para el maíz común (HB-83 en este caso) y de 11.2 a 11.6% para el maíz Opaco-2; los valores encontrados en este experimento fueron similares, aunque es de notar que el maíz HB-83 presenta valores bastante aceptables a los valores reportados a nivel nacional (Rodenas *et al*, 1999). Las tablas de la Florida (McDowell *et al*, 1972), reportan un valor de 10.7% para maíz común.

FAO (1993) indica que el maíz Opaco-2 y sus derivados poseen una mayor proporción de germen con relación al endospermo que los maíces comunes y mencionando el mismo que el germen posee un 18.4% de Proteína, aumenta el valor total de proteína del grano pues el endospermo solo cuenta con un 8% de proteína.

En una muestra analizada de maíz Opaco-2 del mismo origen (Rodenas *et al* 1999), se encontró un valor de 10.50% de Proteína cruda, similar al valor encontrado en esta investigación. En maíz común NRC (1978), citada por Maynard *et al* (1993), reporta un valor de PC de 10%, mientras que FAO (1993), nos indica que este esta puede oscilar de 8% a 11%. Las tablas de la Florida (McDowell *et al*, 1972), reportan un valor de 11.2% para maíz Opaco-2.

En general las proteínas se distinguen entre sí por los aminoácidos que las componen, aspecto que rige asimismo su valor; sin embargo es mejor utilizar una estimación analítica de su composición de aminoácidos para adjudicarle su valor biológico pues el Kjeldahl reporta tanto el nitrógeno como las amidas y las sales de amonio de la muestra y el valor dado de 16% de nitrógeno de la proteína tiende a variar levemente entre materiales (Maynard *et al*, 1993).

Para maíz común, NRC (1978) citada por Maynard *et al* (1993), se reporta un valor de FC de 2.2%, inferior a los valores de este experimento. Las tablas de la Florida (McDowell *et al*, 1972), reportan un valor de 3.2% para maíz común y de 2.9% para maíz Opaco-2.

Bauman L. (citado por CIMMYT-PURDUE, 1990) y FAO (1993), indican que en general el maíz Opaco-2, tiene mayor contenido de aceite que el maíz común (30.37% mayor en este caso), debido esto a que el germen ocupa mayor proporción del grano en virtud del menor peso del endospermo. FAO (1993) explica que la mayor cantidad de aceite del grano se encuentra en el germen (33.2%) en comparación al endospermo que aporta muy poco (0.8%).

En vista de que el porcentaje de aceite y su composición es hereditario y fácil de determinar, se piensa que se debe investigar el efecto de la selección de aceite en Opaco-2 sintético en su composición, nivel y calidad de proteína.

Es valido mencionar que el extracto etéreo no es específicamente el contenido de grasa de la muestra pues de el Goldfish se obtienen además de grasas, aceites esenciales y vitaminas liposolubles (Maynard *et al*, 1993).

Las tablas de la Florida (McDowell *et al*, 1972), reportan un valor de EE de 4.7% para maíz común y de 5.1% para maíz Opaco-2.

En el Químico Proximal se dividieron los carbohidratos de la muestra de alimentos en las fracciones de Fibra Cruda y Extracto libre de Nitrógeno, tomando en cuenta sus valores de digestibilidad, sin embargo como se ve en la Tabla 5, estos valores no son tan bajos para la fibra como se esperaría según Maynard *et al* (1993).

En el maíz HB-Proticta el valor de Extracto libre de Nitrógeno se ve afectado por el aumento del valor de proteína y de Extracto etéreo de la muestra. Además el ELN no es el resultado de análisis alguno, sino que su valor se refiere solo “a lo que quedó” (Maynard *et al*, 1993).

Un proceso mas adecuado es el de realizar una cuantificación analítica de la proporción real de este con el método de Van Soest para fraccionar las fibras de los alimentos (Maynard *et al*, 1993). Las tablas de la Florida (McDowell *et al*, 1972), reportan un valor de 79.7% para maíz común y de 78.8% para maíz Opaco-2. Ellos mismos mencionan que esta variable no se debería de seguir aplicando para el calculo de dietas.

El valor de Ceniza obtenido por Incineración no revela los elementos específicos presentes en la muestra. De este valor se sabe que en el caso de los granos de cereales, mas del 70% corresponde a calcio y fósforo (Maynard *et al*, 1993). FAO(1993), indica que el valor de ceniza en el maíz es de alrededor de 1.3%. Las tablas de la Florida (McDowell *et al*, 1972), reportan un valor de 1.7% para maíz común y de 2.0% para maíz Opaco-2.

## 6.2. Consumos de Alimento y excreciones.

Los resultados de los consumos, excreción de heces y de orina se detallan en la Tabla 4.

**TABLA 4** Promedio de Consumos y Excreciones diarias en los 4 días de la fase de recolección

Valores	Materiales	
	HB-83	HB-Proticta
Consumo de MS (gramos de MS día)	795	860
Excreción Sólida (gramos de MS /día)	70	102.5
Excreción Liquida (Mililitros /día)	477.5	387.5

A pesar de tener una ración fija, se obtuvieron consumos variables durante el experimento debido a que los animales no consumían en su totalidad la ración ofrecida pesando y descontando el desperdicio.

## 6.3. Determinación de Nutrientes Digestibles Totales (TND)

### 6.3.1. Digestibilidad Aparente de los alimentos

La digestibilidad que se obtuvo en este experimento es aparente puesto que no se tomaron en cuenta las descamaciones intestinales, sin embargo, en la practica no se utiliza la digestibilidad real, que es usada para trabajos experimentales avanzados. En investigaciones realizadas para cuantificar estas perdidas intestinales, se han encontrado valores de 2 mg. de Nitrógeno por gramo de materia seca ingerida (Maynard *et al*, 1993). Los valores de la digestibilidad aparente de los distintos componentes del análisis Químico Proximal se detallan en la Tabla 5.

Es de notar que los valores de digestibilidad entre los maíces fueron diferentes únicamente en cuanto a la digestibilidad de la fibra cruda (16.35% menor para el maíz HB-Proticta con respecto al maíz HB-83).

Andrews (1971), reporta una digestibilidad de 79% para maíz en humanos, dato similar al encontrado en este experimento. FAO (1993), nos indica que en niños este valor varía de 72% a 78%.

FAO (1993), también menciona que la diferencia en cuanto a digestibilidad aparente de la proteína entre los maíces común y Opaco-2 es la misma, lo que concuerda con lo encontrado en este trabajo (Tabla 5).

Pascual-Reas (1997), en un estudio metabólico efectuado en Ontario, Canadá, evaluó la digestibilidad energética de una ración de maíz común en cerdos en la etapa de engorde, y encontró un valor medio de 88.3%, valor situado entre los valores obtenidos de digestibilidad energética de los dos maíces evaluados en este experimento. Maynard *et al* (1993), indica que en cerdos con raciones bien balanceadas y productivas la perdida energética promedio es de aproximadamente un 20% (80% de digestibilidad).

**TABLA 5** Digestibilidades aparentes de los distintos componentes del análisis proximal realizado.

Parámetros	HB-83 %	HB-Proticta %
Digestibilidad de Proteína Cruda	79.31	79.51

Digestibilidad de Extracto Etéreo	73.68	71.13
Digestibilidad de Fibra Cruda	57.10	47.76
Digestibilidad de Extracto Libre de Nitrógeno	95.53	93.96
Digestibilidad de Energía Bruta	90.50	87.61

La determinación de la digestibilidad aparente de las cenizas no se reporta pues no tiene valor como indicador del uso de calcio y fósforo pues en las heces se excretan los minerales que se absorbieron, metabolizaron y utilizaron por el cuerpo, y también aquellos otros que han escapado a la absorción. Esta determinación solo se realiza por medición de radioisótopos (Maynard *et al*, 1993). FAO (1993), mencionan que no existen estudios comparativos directos de digestibilidad entre maíz común y Opaco-2 o sus derivados, haciendo de esta investigación una información importante.

### 6.3.2. Determinación de TND% *in vivo*

Con los datos del Químico Proximal y de las Digestibilidades *in vivo* de los nutrientes, se procedió a determinar el valor de Nutrientes Digestibles Totales (TND) como se detalla en las Tablas 6 y 7 (ver inciso 4.4.3.).

**TABLA 6** Determinación de TND% *in vivo* en maíz HB-83.

<b>Nutrientes</b>	<b>Nutrientes Totales en 100 Kg. Kg.</b>	<b>Coefficientes de Digestibilidad %</b>	<b>Nutrientes Digestibles Kg/100 Kg</b>
Proteína Cruda	9.23	79.31	7.32
Fibra Cruda	3.04	57.10	1.74
Extracto Libre de Nitrógeno	81.37	95.53	77.73
Extracto etéreo	4.61	73.68 (x 2.25)	7.63
<b>Nutrientes Digestibles Totales</b>			<b>94.42</b>

Se observa que del aporte energético total de los alimentos, el extracto libre de nitrógeno aporta la mayor cantidad de energía de la muestra de alimento, debido a que contiene la fracción de los carbohidratos solubles del alimento. Se observa que el contenido energético del maíz HB-Proticta no se ve disminuido por el efecto sustitutivo del mayor contenido de extracto etéreo del mismo maíz.

**TABLA 7** Determinación de TND% *in vivo* en maíz HB-Proticta.

<b>Nutrientes</b>	<b>Nutrientes Totales en 100 Kg. Kg.</b>	<b>Coefficientes de Digestibilidad %</b>	<b>Nutrientes Digestibles Kg /100 Kg</b>
Proteína Cruda	10.61	79.51	8.43
Fibra Cruda	3.18	47.76	1.52
Extracto Libre de Nitrógeno	78.36	93.96	73.63
Extracto etéreo	6.01	71.13 (x 2.25)	9.62
<b>Nutrientes Digestibles Totales</b>			<b>93.20</b>

### 6.3.3. Determinación de TND% matemático

Para la determinación del TND matemático se procedió a utilizar la formula de TND propuesta por la universidad de florida con los valores del Químico Proximal (ver inciso 4.4.1.), obteniendo los resultados siguientes:

**TABLA 8** Valores de TND de materiales evaluados.

<b>Maíz</b>	<b>TND %</b>	<b>Coefficiente de varianza</b>	<b>Desviación estándar</b>
Maíz HB-83:	<b>84.77 %</b>	0.38%	0.325
Maíz HB-Proticta:	<b>84.66 %</b>	0.14 %	0.120

Rodenas *et al* (1999), reportaron valores de TND que van de 82.60% a 89.22% en muestras harina de maíz común analizadas en el laboratorio de Bromatología de esta facultad. Maynard *et al* (1993), nos brindan el dato de 91% en una muestra de similares condiciones. NRC (1978), citada por

Maynard *et al* (1993), menciona un valor de TND de 88% para otra muestra similar. Los valores obtenidos en este experimento se encuentran bien enmarcados dentro de los valores reportados por Rodenas *et al* (1999). Las tablas de la Florida (McDowell *et al*, 1972), reportan un valor de 85.1% para maíz común y de 85.0% para maíz Opaco-2.

### 6.3.4. Comparación estadística entre los métodos de determinación

Al hacer la comparación estadística de los valores obtenidos matemáticamente con los obtenidos *in vivo* se encontró la información que se observa en la Tabla 9.

**TABLA 9** Comparación estadística entre los métodos matemático e *in vivo* en la variable TND% <sup>(1)</sup>.

Variables	HB-83		HB-Proticta	
	Método Matemático	Método <i>In vivo</i>	Método Matemático	Método <i>in vivo</i>
TND%	84.77 <i>b</i>	94.42 <i>a</i>	84.66 <i>b</i>	93.20 <i>a</i>

1) Letras diferentes en una misma fila indican diferencia significativa (<0.05 sign.)

Se encontró que sí existe diferencia significativa entre los métodos de determinación de valores energéticos en la variable Nutrientes Digestibles Totales para los dos materiales evaluados. Los valores de TND% determinados matemáticamente presentaban valores muy inferiores a los dados *in vivo* (-10.22% y -9.16%, para los maíces, respectivamente). La causa de esta diferencia tan marcada entre ambos métodos es un tanto difícil de determinar, sin embargo al observar el proceso desde su inicio permite visualizar ciertas limitaciones en el proceso de determinación de esta variable.

Se puede observar cierta acumulación de error experimental primeramente en el Análisis Químico Proximal, con las limitaciones discutidas en el índice 6.1. Otro aspecto que influye en esta variabilidad esta en los índices de digestibilidad presentados por la Universidad de Florida, obtenidos a través de regresiones múltiples aplicados a una serie de alimentos a los que da una identificación muy generalizada (“energéticos”), sin establecer los rangos de aceptabilidad.

Tomando en cuenta que el Extracto Libre de Nitrógeno aporta una gran proporción de la energía reportada en el TND% (ver Tablas 6 y 7), se plantea la situación de que la determinación del ELN al haberse realizado por diferencias entre los otros componentes del análisis Químico Proximal, acumula los errores de los otros análisis. Además el ELN no se obtiene mediante análisis alguno, sino que su valor se refiere solo “a lo que quedo” (Maynard *et al* (1993).

Las tablas de la Florida (McDowell *et al*, 1972), mencionan que el ELN no se debería de seguir aplicando para el calculo de dietas, pero hasta que no se obtenga suficiente información que reemplace TND% con el sistema calorimétrico, aun será ventajoso tener el ELN para calcular la Energía Digestible y Metabolizable.

Andrews (1971), ya había mencionado algo similar al comentar que la formula de TND% solo se aplica para algunos ingredientes, mientras que había otros en los que no funcionaba, sugiriendo para confirmar esto la revisión de cada uno de los ingredientes en cada país para determinar su certeza.

McDowell *et al* (1974), autores de las Tablas de Composición de Alimentos Latinoamérica, sugieren que se busque el desarrollo de información individual para dejar en desuso este tipo de factores.

## 6.4. Determinación de Energía Digestible (ED)

### 6.4.1. Determinación de ED *in vivo*

Para la determinación de estos valores energéticos se procedió a realizar un balance energético a partir de los datos de Energía Bruta de los alimentos y Heces del experimento como se detalla en la Tabla 11, con los resultados siguientes:

**Maíz HB-83: 4683 Kcal/kg MS**

**Maíz HB-Proticta: 4474 Kcal/Kg MS**

Los valores de Energía Digestible de la mayoría de las bibliografías consultadas son obtenidos principalmente por estimación matemática por lo que en su mayoría no son comparables a los obtenidos *in vivo* en este experimento.

## 6.4.2. Determinación de ED matemática

Para la determinación de estos valores energéticos se procedió a utilizar la fórmula de ED propuesta por la Universidad de Florida con los valores del Químico Proximal a través de TND% (ver inciso 4.4.1.), obteniendo los resultados siguientes:

**Maíz HB-83: 3735 Kcal/kg MS**  
**Maíz HB-Proticta: 3771 Kcal/Kg MS**

Maynard *et al* (1993), reportaron un valor de ED de 4010 kcal/kg en maíz común; mientras que NRC (1978), citada por Maynard *et al* (1993), mencionan un valor de ED de 3870 Kcal/kg para otra muestra similar. El resultado de este experimento se aproxima más al valor de NRC (1978). Las tablas de la Florida (McDowell *et al*, 1972), reportan un valor de kcal/kg de 3752 para maíz común y de 3748 para maíz Opaco-2.

## 6.4.3. Comparación estadística entre los métodos de determinación

Al hacer la comparación estadística de los valores obtenidos matemáticamente con los obtenidos *in vivo* se encontró la información que se observa en la tabla 10.

Sí se encontró diferencia significativa entre los métodos de determinación de Energía Digestible en los dos materiales evaluados. Andrews (1971), menciona que la fórmula de TND% solo se aplica para algunos ingredientes, mientras que había otros en los que no funcionaba, sugiriendo para confirmar esto la revisión de cada uno de los ingredientes en cada país para determinar su certeza.

**TABLA 10** Comparación estadística entre los métodos matemático e *in vivo* en la variable ED <sup>(1)</sup>

Variables	HB-83		HB-Proticta	
	Método Matemático	Método <i>in vivo</i>	Método Matemático	Método <i>in vivo</i>
ED (Kcal/kg )	3735 <i>b</i>	4683 <i>a</i>	3771 <i>b</i>	4474 <i>a</i>

1. Letras diferentes en una misma fila indican diferencia significativa (<0.05 sign)

McDowell *et al* (1974), autores de las Tablas de Composición de Alimentos Latinoamérica, sugieren que se busque el desarrollo de información individual para dejar en desuso este tipo de factores.

Jahns (1987), menciona que el método matemático sí se puede seguir usando en explotaciones pequeñas pero que para explotaciones grandes es poco práctico pues sobrestima los valores energéticos del alimento evaluado, sin embargo en esta evaluación sucedió lo contrario.

## 6.5. Determinación de Energía Metabolizable (EM)

### 6.5.1. Determinación de EM *in vivo*

Para la determinación de estos valores energéticos se procedió a realizar un balance energético a partir de los datos de Energía Bruta de los alimentos, y de Heces y Orina de los animales del experimento como se detalla en la Tabla 11.

**TABLA 11** Balance Energético de maíces HB-83 y HB-Proticta.

Alimento	Ingesta gramos/día	Alimento Ingerido	Energía Kcal/kg MS/ día		
			Perdidas		Energía Metabolizable <sup>(2)</sup>
			Heces	Orina	Digestible <sup>(1)</sup>
HB-83	795	4114	389	67	<b>4683</b>
HB-Proticta	860	4389	554	67	<b>4474</b>
					<b>4596</b>
					<b>4397</b>

1. Energías de alimento ingerido menos heces. 2. Energías de alimento ingerido menos heces menos Orina.

Maynard *et al* (1993), nos indican que las pérdidas en orina en cerdos son de 2% a 3% de la Energía Bruta consumida, reportando en este experimento el equivalente a 1.63% y 1.53%, para los maíces HB-83 y HB-Proticta respectivamente.

Los valores de Energía Metabolizable de las bibliografías consultadas son obtenidos principalmente por estimación matemática por lo que en su mayoría no son comparables a los obtenidos *in vivo* en este experimento.

### 6.5.2. Determinación de EM matemática

Para la determinación de estos valores energéticos se procedió a utilizar la fórmula de EM propuesta por la Universidad de Florida con los valores del Químico Proximal a través de TND% y ED (ver inciso 4.4.1.), obteniendo los resultados siguientes:

**Maíz HB-83: 3585 Kcal/kg**  
**Maíz HB-Proticta: 3620 Kcal/kg**

Rodenas *et al* (1999), reportaron valores de EM que van de 3140 a 3600 kcal/kg en muestras harina de maíz común analizadas en el laboratorio de Bromatología de esta facultad. Maynard *et al*, muestran el dato de 3430 kcal/kg en una muestra de similares condiciones. NRC (1978), citada por Maynard *et al* (1993), mencionan un valor de EM de 3490 kcal/kg para otra muestra similar. Los valores obtenidos en este experimento se encuentran bien enmarcados dentro de los valores reportados por estos tres autores.

Las tablas de la Florida (McDowell *et al*, 1972), reportan un valor de kcal/kg de 3521 para maíz común y de 3513 para maíz Opaco-2.

### 6.5.3. Comparación estadística entre métodos

Al hacer la comparación estadística de los valores obtenidos matemáticamente con los obtenidos *in vivo* se encontró la información que se observa en la Tabla 12. Si se encontró diferencia significativa entre los métodos de determinación de Energía Metabolizable para los dos materiales evaluados.

Andrews (1971), menciona que la fórmula de TND% solo se aplica para algunos ingredientes, mientras que había otros en los que no funcionaba, sugiriendo para confirmar esto la revisión de cada uno de los ingredientes en cada país para determinar su certeza.

McDowell *et al* (1974), autores de las Tablas de Composición de Alimentos Latinoamérica, sugieren que se busque el desarrollo de información individual para dejar en desuso este tipo de factores.

Jahns (1987), menciona que el método matemático sí se puede seguir usando en explotaciones pequeñas pero que para explotaciones grandes es poco práctico pues sobrestima los valores energéticos del alimento evaluado, sin embargo en esta evaluación en la EM al igual que con la ED sucedió lo contrario.

**TABLA 12** Comparación estadística entre los métodos matemático e *in vivo* en la variable EM<sup>(1)</sup>

Variables	HB-83		HB-Proticta	
	Método Matemático	Método <i>in vivo</i>	Método Matemático	Método <i>in vivo</i>
EM (Kcal/Kg)	3585 <i>b</i>	4596 <i>a</i>	3620 <i>b</i>	4397 <i>a</i>

1) Letras diferentes en una misma fila indican diferencia significativa (<0.05 sign)

### 6.6. Factores de conversión entre Variables

Basándose en los resultados obtenidos de TND, ED y EM, en la Tabla 13 se detallan los factores de conversión entre variables (ver inciso 5.4.4.).

Los valores encontrados fueron superiores a los propuestos por la literatura (McDowell *et al* 1974). El factor de conversión de TND% a ED (Kcal/Kg) utilizado por la Universidad de Florida (McDowell *et al*, 1974) es de 44.09. En este experimento se presentó un valor 11.14% y 6.79% más alto en los maíces HB-83 y HB-Proticta, respectivamente. (ver Tabla 13)

El factor de conversión de Kg. de TND matemático en ED matemático reportado por Cañas y Aguilar (1990) es de 44.09. Maynard *et al* (1993), reporta un valor ajustado de 44.1, o sea 4.41 cal/gramo de ED (ver Tabla 13).

**TABLA 13** Factores de conversión entre variables energía ruta (EB), Digestible (ED), metabolizable (EM) y nutrientes digestibles totales.

Factores de equivalencia entre variables obtenidas <i>in vivo</i>	Harinas de Maíces			
	HB-83		HB-Proticta	
	Valor	SD	Valor	SD
De Energía Bruta a Energía Digestible <sup>(1)</sup>	<b>0.9050</b>	0.024	<b>0.8761</b>	0.019
De Energía Bruta a Energía Metabolizable <sup>(2)</sup>	<b>0.8883</b>	0.023	<b>0.8609</b>	0.019

De Energía Digestible a Energía Metabólica	<b>0.9785</b>	0.050	<b>0.9802</b>	0.002
De TND% a Energía Digestible	<b>49.57</b>	0.100	<b>48.00</b>	0.154
De TND% a Energía Metabolizable	<b>48.66</b>	0.209	<b>47.17</b>	0.172
Mcal de Energía Digestible por unidad de TND%	<b>1.7881</b>	0.343	<b>1.5390</b>	0.100

1) Digestibilidad de la energía. 2) Metabolizabilidad de la energía.

## 6.7. Comparación Nutricional de materiales evaluados

### 6.7.1. Valor Biológico Aparente de la proteína:

Este valor obtenido mediante diferencias a partir de la información del contenido de nitrógeno del alimento, heces totales y orina total (ver inciso 4.4.5.). Indica la calidad de la proteína de los materiales evaluados para la formación de tejidos en el organismo. Con el objetivo de generar un maíz con mejor valor biológico se generó la variedad HB-Proticta. La información obtenida en este experimento se observa en la Tabla 14. Para el maíz HB-83 se encontró un valor de 50.10%, mientras que para HB-Proticta se encontró un valor de 61.85%. Bressani (citado por CIMMYT-PURDUE, 1990), al realizar una evaluación semejante en niños, encontró valores de calidad de proteína de 32% y de 72% para maíz común (HB-83) y para maíz Opaco-2, respectivamente (HB-Proticta).

FAO (1993) menciona valores promedio de 57% para maíz común y de 80% para Opaco-2, aunque aclara que el Valor Biológico Aparente de la Proteína depende tanto del nivel de ingesta proteica como de la etapa de desarrollo.

**TABLA 14** Balance de Nitrógeno de maíces HB-83 y HB-proticta.

Alimento	Ingestión de proteína g. /Kg / día	Numero de muestras	Balance de Nitrógeno Mg. N <sup>3</sup> / día			VBA %
			Ingerido	Absorbido	Retenido	
HB-83	92.3	10	12.49	10.02	4.83	<b>47.63</b>
HB-Proticta	106	12	14.61	11.54	6.36	<b>55.68</b>

VBA = Valor Biológico Aparente.

Manner, J. (citado por CIMMYT-PURDUE, 1990), indica que la mayor calidad de proteína del maíz Opaco-2 (HB-Proticta), se da por mejoramiento de los niveles de Lisina y Triptófano, que se encuentran en valores muy reducidos en la zeína de los maíces comunes. (como en el HB-83). A todos los maíces derivados del maíz Opaco-2, tal como el HB-Proticta, se les nombra "Maíces de alta calidad proteínica" (ó QPM), pues presentan ese mejor perfil de aminoácidos tan importante para la dieta tanto animal como humana.

La mejora de la calidad de la proteína del maíz HB-Proticta se da por la acción del gen Opaco-2, presente en este, y que inhibe la síntesis de Zeína, incrementando la síntesis de la Gluteína, siendo que esta última posee una mayor proporción de los aminoácidos Lisina y Triptófano (1).

Andrews (1971), indica al respecto que las digestibilidades de nitrógeno entre el hombre, cerdos y ratas son similares, por lo que estos pueden ser utilizados indistintamente para pruebas piloto.

### 6.7.2. Comparación estadística entre materiales evaluados:

Al hacer la comparación nutricional entre las harinas de maíz HB-Proticta y HB-83 se presentaron los resultados de la Tabla 15.

Al comparar el valor energético de las harinas de los maíces evaluados, no se encontraron diferencias significativas entre ambos materiales evaluados, salvo en el aspecto de Proteína Cruda, en donde sí se encontraron diferencias significativas en ambos materiales, reportando el Maíz HB-Proticta un valor de Proteína 13.01% mayor que el del maíz HB-83.

1. Bressani, Ricardo. 2002. Maíz de alta calidad proteínica. Guatemala. (Comunicación personal).

El Maíz HB-Proticta fue formulado para ser superior al maíz HB-83 únicamente en el aspecto Proteínico, situación que se confirmó en este experimento. En una evaluación similar efectuada por Manner (citado por CIMMYT-PURDUE, 1990), encontró valores de proteína cruda más altos en maíz Opaco-2 que en una muestra de maíz.

**TABLA 15** Comparación estadística entre materiales evaluados.

Variables	Método Matemático **		Método <i>in vivo</i> ***	
	HB-83 *	HB-Proticta *	HB-83 *	HB-Proticta *
TND%	84.77 <i>a</i>	84.66 <i>a</i>	94.42 <i>a</i>	93.20 <i>a</i>
ED (Kcal/kg)	3735 <i>a</i>	3771 <i>a</i>	4683 <i>a</i>	4474 <i>a</i>
EM (Kcal/Kg)	3585 <i>a</i>	3620 <i>a</i>	4596 <i>a</i>	4397 <i>a</i>
Proteína Cruda %	9.225 <i>b</i>	10.605 <i>a</i>	--	--
VBA %	--	--	47.63 <i>a</i>	55.68 <i>a</i>

\* Letras diferentes en una misma fila indican diferencia significativa (<0.05 sign.). \*\* Análisis de T-Student, \*\*\* Análisis de Cuadrado latino.

Numerosos autores citados por CIMMYT-PURDUE (1990) indican que el maíz Opaco-2 y sus variedades derivadas poseen un valor de Calidad Proteica mayor que el resto de maíces por efecto de la mejora de del perfil de aminoácidos de estos con la adición del gen Opaco-2 <sup>(1)</sup>.

FAO (1993), nos indica que en una comparación que se hizo entre maíz común, maíz Opaco-2 y una variedad derivada de Opaco-2 tal como el HB-Proticta, se obtuvieron valores de calidad de proteína de 32.1%, 98.6% y 82.1% con respecto a la caseína (100%).

El Valor Biológico Aparente encontrado en este experimento a pesar de ser relativamente mas alto en el maíz HB-Proticta, aun no se considera estadísticamente superior al maíz HB-83. Se esperaba que el maíz HB-Proticta manifestara un Valor Biológico Aparente más alto (por lo menos 80%), sin embargo este resultado es atribuible a una dilución de aminoácidos a raíz de los cruces del Opaco-2 para mejorar la consistencia del grano, originalmente harinoso y también sus rendimientos productivos y características agronómicas. El valor manifestado por el maíz HB-83 sorprendió pues no se esperaba un valor mayor de 32%. <sup>(1.)</sup>

FAO (1993), indica que la diferencia principal del maíz Opaco-2 y los maíces derivados (HB-Proticta), con respecto al maíz común esta en el aumento de la proporción del germen a expensas del endospermo, tomando en cuenta que el germen posee un porcentaje de proteína y Extracto Etéreo mayor que el endospermo. Sin embargo el mayor cantidad de proteína del grano proviene del endospermo debido a que este representa del 80% al 85% del peso del grano.

Además, la calidad de la proteína del germen (Gluteína) es muy elevada en comparación a la proteína del endospermo y patentemente superior a la del grano entero (Zeína).<sup>(1)</sup>

FAO (1993), indica que no existen estudios comparativos directos de Valor Biológico Aparente de las proteínas de maíz Opaco-2 o sus derivados y maíz común por lo que la comparación se ha venido haciendo por estudios individuales.

## 6.8. Determinación de Energía Bruta

### 6.8.1. Determinación de EB matemática

Para la determinación de la EB matemática se procedió a utilizar la formula de EB propuesta por Cañas y Aguilar (1990), con los valores del Análisis Químico Proximal (ver inciso 4.4.2.), obteniendo los resultados que se presentan en la tabla 16:

**TABLA 16** Valores de Energía Bruta obtenidos a partir de análisis Químico Proximal.

Harinas de Maíz		Cerdazas de Dietas de Maíz	
HB-83	HB-Proticta	Maíz HB-83	Maíz HB-Proticta
4536	4638	4891	4909

1 Bressani, Ricardo. 2002. Maíz de alta calidad proteínica. Guatemala. (Comunicación personal).

En una muestra de maíz común reportada por Maynard *et al* (1993) se obtuvo un valor de 4442 kcal/kg Esta información por ser de escasa utilidad en la nutrición animal, es muy poco analizada por los investigadores.

### 6.8.2. Determinación de EB calorimétrica

Mediante la determinación directa de las harinas de los maíces en el Calorímetro Adiabático (Bomba Calorimétrica) se obtuvieron los resultados siguientes:

**TABLA 17** Valores de Energía Bruta obtenidos a partir de análisis Calorimétrico.

<u>Harinas de Maíz</u>		<u>Cerdazas de Dietas de Maíz</u>	
<b>HB-83</b>	<b>HB-Proticta</b>	<b>Maíz HB-83</b>	<b>Maíz HB-Proticta</b>
5174	5107	5451	5455

### 6.8.3. Comparación estadística entre Métodos

En vista de la necesidad de conocer la funcionalidad de la formula recomendada por Cañas y Aguilar (1990), para determinar el valor de la Energía Bruta se realizó la evaluación de los valores resultantes del análisis calorimétrico versus los resultados del análisis Químico proximal (método de Weende) y aplicados a la formula en mención, los cuales fueron los siguientes:

**TABLA 18** Comparación estadística entre los métodos matemático y calorimétrico en la para harinas y cerdazas de materiales evaluados <sup>(1)</sup>.

<b>Variables</b>	<b>HB-83</b>		<b>HB-Proticta</b>	
	<b>Método Matemático</b>	<b>Método Calorimetría</b>	<b>Método Matemático</b>	<b>Método Calorimetría</b>
Harinas de maíz	4536 a	5174 b	5638 a	5107 b
Cerdazas de Dietas	5451 a	4891 b	5455 a	4909 b

1. Letras diferentes en una misma fila indican diferencia significativa (<0.05 sign.)

Los valores estadísticos muestran diferencias significativas entre los resultados obtenidos a partir de análisis calorimétrico y los obtenidos basándose en la correlación matemática a partir de análisis Químico Proximal para las harinas y cerdazas de los maíces analizados.

Según Cañas y Aguilar (1990), los coeficientes en la ecuación correspondiente a los valores de combustión planteados por Atwater y Bryant, y están indicando que el contenido de proteína cruda y extracto etéreo son las variables que tienen mayor influencia en el contenido de EB por alimento (energía por gramo de nutriente).

## **VII. CONCLUSIONES**

1. Los valores energéticos de las harinas de los maíces HB-Proticta y HB-83 obtenidos por calorimetría fueron diferentes a los obtenidos basándose en la estimación matemática, en términos de Energía Digestible y Metabolizable en cerdos en desarrollo.
2. Los valores de Nutrientes Digestibles Totales de harinas de maíces HB-Proticta y HB-83 obtenidos por una determinación *in vivo* fueron diferentes a los obtenidos a partir de estimación matemática en cerdos en desarrollo.
3. Los valores obtenidos de la fórmula de predicción de Energía Bruta a partir de Análisis Químico Proximal, fueron diferentes a los obtenidos por calorimetría al aplicarse en las harinas de los materiales de maíz y en sus cerdazas respectivas, siendo mayor el valor obtenido por el método calorimétrico.
4. El valor nutricional de las harinas de maíz HB-Proticta fue similar al del maíz HB-83, para las variables Nutrientes Digestibles Totales, Energía Digestible., Energía Metabolizable y Valor Biológico Aparente.

## **VIII. RECOMENDACIONES**

1. Evaluar los métodos de determinación de contenido energético en cerdos, utilizando éstos y otros materiales de importancia en la alimentación de cerdos para confirmar los resultados de esta investigación.
2. Evaluar los métodos de determinación de contenido energético en cerdos en etapas de desarrollo distintas a las de este experimento para confirmar los resultados de esta investigación.
3. Establecer el Valor Biológico Aparente de otros Ingredientes de importancia en la alimentación animal.
4. Ampliar la infraestructura y equipo de la facultad con el objeto de aumentar la capacidad de investigación en estas disciplinas.

## IX. RESUMEN

HERNÁNDEZ, W. 2002. Comparación entre dos métodos de determinación de contenido energético (calorimetría y estimación matemática) utilizados en harinas de maíz HB-Proticta y HB-83 para alimentación de cerdos en desarrollo.

Palabras clave: Cerdos, energía, nutrientes digestibles totales, calorimetría, evaluación metabólica, digestibilidad, análisis químico proximal, valor biológico aparente, maíz, HB-Proticta, HB-83, Opaco-2.

La presente investigación se realizó con el fin de evaluar el método matemático de determinación de contenido energético propuesto por la Universidad de Florida (1972), comparándola con la determinación *in vivo* a partir de calorimetría, analizando las variables: 'nutrientes digestibles totales' (TND), energía bruta, digestible y metabolizable (Kcal/Kg).

También se compararon nutricionalmente los maíces HB-83 y HB-Proticta, en las variables 'nutrientes digestibles totales' (TND), energía bruta, digestible y metabolizable (Kcal/Kg), valor biológico aparente (%) y proteína cruda (%). Se evaluaron también los índices de digestibilidad de los distintos componentes del químico proximal, para generar formulas de 'nutrientes digestibles totales' (TND) obtenidas *in vivo*.

Para la variable Nutrientes Digestibles Totales obtenida *in vivo se* encontraron valores de 94.42% para el maíz HB-83 y de 93.20% para HB-Proticta. Los valores obtenidos matemáticamente fueron de 84.77% para maíz HB-83 y de 84.66 % para maíz HB-Proticta.

Para la variable Energía Digestible obtenida *in vivo se* encontraron valores de 4683 Kcal/Kg para el maíz HB-83 y de 4474 Kcal/Kg para HB-Proticta. Los valores obtenidos matemáticamente fueron de 3735 Kcal/Kg para maíz HB-83 y de 3771 Kcal/Kg para maíz HB-Proticta.

Para la variable Energía Metabolizable obtenida *in vivo se* encontraron valores de 4596 Kcal/Kg para el maíz HB-83 y de 4397 Kcal/Kg para HB-Proticta. Los valores obtenidos matemáticamente fueron de 3585 Kcal/Kg para maíz HB-83 y de 3620 Kcal/Kg para maíz HB-Proticta.

Para la variable Valor Biológico Aparente se encontraron valores de 47.63% para maíz HB-83 y de 55.68% para maíz HB-Proticta.

Al hacer la comparación entre los métodos de predicción de Energía Digestible y Energía Metabolizable, sí se encontró diferencia significativa y un valor mayor para el método *in vivo*, en ambos materiales evaluados.

Al comparar los métodos de determinación de Nutrientes Digestible Totales (TND%) sí se encontró diferencia significativa entre ambos métodos y en ambos materiales evaluados. El método *in vivo* dio un valor de superioridad con respecto al método matemático de 10.22% para maíz HB-83 y de 9.16% para el maíz HB-Proticta.

Al evaluar la factibilidad de la aplicación de la formula de predicción de Energía Bruta a partir de Análisis Químico Proximal, con respecto de los resultados obtenidos por calorimetría, sí se encontraron diferencias significativas al aplicarse en las harinas de los materiales de maíz y en sus cerdazas respectivas, siendo mayor el valor obtenido por el método calorimétrico.

Se encontró que el valor bromatológico del maíz HB-83 era el siguiente: Proteína Cruda: 9.23%, Extracto Etéreo: 4.61%, FC: 3.04%, Cenizas: 1.76%, Extracto Libre de Nitrógeno: 81.37% y Valor Biológico Aparente: 47.63%. En el maíz HB-Proticta se encontró: Proteína Cruda: 10.61%, Extracto Etéreo: 6.01%, FC: 3.18%, Cenizas: 1.85%, Extracto Libre de Nitrógeno: 78.36% y Valor Biológico Aparente: 55.68%.

Al comparar el valor nutricional de las harinas de los materiales evaluados, no se encontraron diferencias significativas entre ambos materiales, salvo en el aspecto de Proteína Cruda, en la que el Maíz HB-Proticta reportó un valor relativo 13.01% mayor que el del maíz HB-83.

A partir de Calorimetría para el maíz HB-83 se encontró un valor de conversión de Energía Bruta a Energía Digestible de 0.905 y de Energía Bruta a Energía Metabolizable de 0.8883. En maíz HB-Proticta se encontró un valor de conversión de Energía Bruta a Energía Digestible de 0.8685 y de Energía Bruta a Energía Metabolizable de 0.8513.

A partir de Análisis Químico Proximal y Calorimetría, para maíz HB-83 se encontró un valor de conversión de TND% a Energía Digestible de 49.57 y de TND% a Energía Metabolizable de 48.66. En maíz HB-Proticta se encontró un valor de conversión de TND% a Energía Digestible de 48.00 y de TND% a Energía Metabolizable de 47.17, siendo diferentes a los citados por la literatura.

Finalmente se recomienda evaluar éstos y otros materiales de importancia en la alimentación de cerdos para confirmar los resultados de esta investigación, en etapas de desarrollo distintas a las de este experimento,. También se recomienda establecer el Valor Biológico Aparente de otros Ingredientes de importancia en la alimentación animal.

## ABSTRACT

HERNÁNDEZ, W. 2002. Comparison between two energy determination methods (calorimetric and mathematic estimation) used in corn meal of the varieties HB-83 and HB-Proticta for growing pigs.

Key words: Pigs, energy, total nutrients digestibility, calorimeter, metabolic evaluation, digestibility, proximal chemical analysis, apparent biologic value, Corn, HB-83, HB-Proticta, Opaco-2.

This study has been realized to evaluate the statistical accuracy of the mathematic method used to determinate the energetic content of the animal foods, proposed by the University of Florida (1972), comparing it with the *in vivo* determination method from calorimetric evaluation values. Analyzing the Total Digestible Nutrients (TDN %), gross energy, digestible energy and metabolic energy values (Kcal/Kg).

The nutritional value of corn varieties HB-83 and HB-Proticta were also evaluated, in the Total Digestible Nutrients (%), gross energy, digestible energy and metabolic energy values (Kcal/Kg), apparent biological value (%) and crude protein (%) values. The digestibility values of the proximal chemical analysis values were determined from the *in vivo* evaluation to generate an *in vivo* Total Digestible Nutrients (%) value.

The *in vivo* Total Digestible Nutrients (%) values of 94.42% for HB-83 and 93.20% for HB Proticta corns were found. The mathematic Total Digestible Nutrients values were 84.77% for HB-83 and 94.66% for HB-Proticta.

For the variable Digestible Energy obtained from the *in vivo* survey, values of 4683 Kcal/Kg for HB-83 and of 4474 Kcal/kg for HB-Proticta. The values obtained mathematically were 3735 Kcal/kg for HB-83 and of 3771 kcal/kg for HB-Proticta.

For the variable Metabolic Energy obtained from the *in vivo* survey, values of 4596 Kcal/Kg for HB-83 and of 4397 Kcal/kg for HB-Proticta. The values obtained mathematically were 3585 Kcal/kg for HB-83 and of 3620 kcal/kg for HB-Proticta.

For the variable Apparent Biological Value obtained from the *in vivo* survey, values of 47.63% for HB-83 and of 55.68 Kcal/kg for HB-Proticta.

Doing the comparison between the methods used to predict the digestible and metabolic energy values, statistical difference were found, showing a higher value for the *in vivo* determination method, in both materials evaluated.

Doing the comparison between the methods used to predict the Total Digestible Nutrients values, statistical difference were found, showing a higher value for the *in vivo* determination method of 10.22% and 9.16% for HB-83 and HB-Proticta respectively.

Evaluating the fusibility to use the gross energy prediction formula from values obtained from proximal chemical analysis with respect to the results obtained from calorimetric evaluations, statistical difference were found, in both meals and in their feces, showing higher values from the calorimetric method.

The nutritional evaluation showed values for HB-83 corn meal of 9.23% for crude protein, 4.61% for fat free extract, 4.61% for crude fiber, 1.76% for ash, 81.37% for nitrogen free extract and 47.63% for apparent biological value. For HB-Proticta, 10.61% for crude protein, 6.01% for fat free extract, 3.18% for crude fiber, 1.85% for ash, 78.36% for nitrogen free extract and 55.68% for apparent biological value.

Comparing the nutritional value between the evaluated materials, no statistical difference was found between both materials except for crude protein in HB-Proticta corn meal, showing a relative majority value of 13.01% from the HB-Proticta.

Conversion values between gross energy and digestible energy from calorimetric determinations of 0.905 for HB-83 and of 0.8685 for HB-Proticta were found, and conversion values between gross energy and metabolic energy from calorimetric determinations of 0.8883 for HB-83 and of 0.8513 for HB-Proticta.

From proximal chemical analysis and calorimetric determinations for HB-83 corn meal showed a conversion value between total digestible nutrients value and digestible energy value of 49.57 and from total digestible nutrients value and metabolic energy value of 48.66. For HB-Proticta corn meal showed a conversion value between total digestible nutrients value and digestible energy value of 48.00 and from total digestible nutrients value and metabolic energy value of 47.17. Both conversion values differ with the cited literature.

Finally, suggest to evaluate these and other materials of importance in pork alimentation to confirm the results of this investigation, in different growing stages than the evaluated here. Also suggest to determinate the apparent biological value in other ingredients of importance in pork alimentation.

## X. BIBLIOGRAFÍA

**ANDREWS GUTHRIE, H.** 1971. Introductory nutrition. 2 ed. Saint Luis, E.E.U.U., Mosby Company. 511 p.

**ANS 311:** Animal nutrition, class #13: Proteins - Quality. 2000. Oregon, E.E.U.U., Oregon State University. 8p. Tomado de Internet:  
<http://orst.edu/instruct/ans311/311cl13.html>

-----: Animal nutrition, class #14: Energy metabolism - partition of energy. 2000. Oregon, E.E.U.U., Oregon State University. 8p. Tomado de Internet:  
<http://orst.edu/instruct/ans311/311cl14.htm>

**BATEMAN, JOHN V.** 1970. Manual de métodos analíticos. México, Centro regional de ayuda técnica - Agencia para el desarrollo internacional (AID). 468 p.

**CAMPABADAL, C. M.** 1993. Materias primas utilizadas en la formulación de raciones para cerdos. Fuentes de energía. México, Asociación Americana de la Soja. 17 p.

**CAÑAS CRUCHAGA, R.; AGUILAR GONZÁLEZ, C.** 1990. Uso de la bioenergética en producción de bovinos. Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile. 105 p.

**CIMMYT-PURDUE .** 1990. Maíz de alta calidad proteínica. (Exposiciones del simposium de CIMMYT-PURDUE sobre Maíz de alta calidad proteínica celebrado en El Batán, México en 1972). México, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT)/Universidad de Purdue, Indiana. 569 p.

**CRUZ S., J. R. DE LA.** 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento, según sistema Holdridge. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.

**FAO.** 1993. El maíz en la nutrición humana. Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Colección FAO: Alimentación y Nutrición No. 25 (FAO:86 AGRIS: S01). Tomado de Internet:  
<http://www.fao.org/docrept/t0395s/indice.htm>

**JAHNS, T.** 1999. Understanding your Alaskan feed analysis. Fairbanks, Alaska, E.E.U.U., University of Alaska-Fairbanks. Alaska livestock series. 6 p. Tomado de Internet:  
<http://www.uaf.edu/coop.ext>

**MAYNARD, L.A. et al.** 1993. Nutrición animal. Trad. por Alonso Ortega Said. 7 ed. México, McGraw-Hill. 640 p.

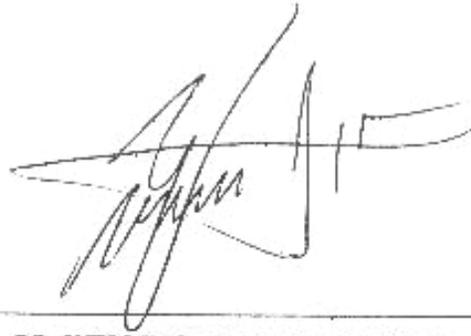
**McDOWELL, L.R. et al.** 1974. Latin American tables of feed composition. Gainesville, Florida, University of Florida. 509 p.  
**ECESIDADES NUTRITIVAS** del cerdo. 1973. Argentina, Centro Regional de Ayuda Técnica. 78 p.

**PASCUAL-REAS, B.** 1997. A comparative study on the digestibility of cassava, maize sorghum and barley in various segments of the digestive tract of growing pigs. Australia, University of Queensland, Department of Animal Medicine and Production, Faculty of Veterinary Science. 11 p. Tomado de Internet:  
<http://cipav.org.co/lrrd/lrrd9/5/phil95.htm>

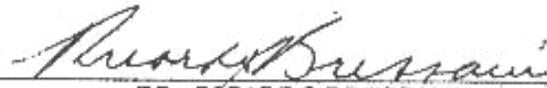
**PIGDEN, W.J.; BALCH, C.C.; GRAHAM, M.** 1980. Standardization of analytical methodology for feeds: proceedings of a workshop held in Ottawa, Canada, 12-14 march 1979. Ottawa, Ont. DRC, 128 p.

**RODENAS ARGUETA, M.A. et al .** 1999. Tablas de valor nutricional de alimentos para animales en Guatemala. Guatemala. Dirección general de Investigación/USAC/DIGI/PRUNIAN. 158 p.

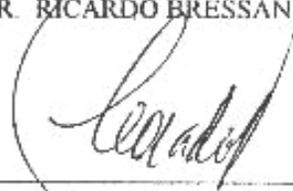
**SIBBALD, I.R.** 1987. Estimation of bio-available amino acid in feeding stuffs for poultry and pigs: a review with emphasis on balance experiments. Canadian Journal of Animal Science Canada) 67(2):221-300.



BR. WELLINGTON OMAR HERNANDEZ LOPEZ



DR. RICARDO BRESSANI



LIC. ZOOT. LUIS HERNANDO CORADO CUEVAS



LIC. ZOOT. JORGE SINAY THE

IMPRIMASE



M.V. MARIO LLERENA  
DECANO

