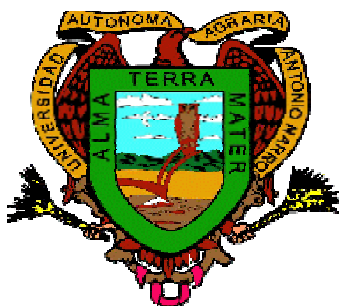


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL**



**“Análisis Comparativo del Contenido Nutricional de Poblaciones  
de Maíz ( Zea mays L.) en Muestreo Fresco y Seco”**

Por:

**MÓNICA NAVA SÁMANO**

**T E S I S**

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

**INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Diciembre del 2005

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL**  
**DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN Y ALIMENTOS**

“Análisis Comparativo del Contenido Nutricional de Poblaciones de Maíz ( *Zea mays L.*) en Muestreo Fresco y Seco”

Por:

**MÓNICA NAVA SÁMANO**

**TESIS**

Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como Requisito  
Parcial para Obtener el Título de:

**INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

**APROBADA**

El Presidente del Jurado

---

**LIC. LAURA O. FUENTES LARA**

---

**DR. FROYLAN RINCÓN SÁNCHEZ**  
Sinodal

---

**DR. ADALBERTO BENAVIDES MENDOZA.**  
Sinodal

---

**DRA. NORMA A. RUÍZ TORRES**  
Sinodal

---

**ING. RAMÓN F. GARCÍA CASTILLO**  
Coordinador de la División de Ciencia Animal

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Diciembre del 2005

## AGRADECIMIENTOS

A mi **ALMA TERRA MATER** por darme la oportunidad de formarme como profesionista en sus instalaciones.

A la **LIC. LAURA O. FUENTES LARA** por haberme apoyado siempre, por dedicarme parte de su valioso tiempo en este trabajo de investigación, y sobre todo por brindarme su amistad, cariño y confianza.

Al **DR. FROYLAN RINCÓN SÁNCHEZ** por haberme dado la oportunidad de participar en este trabajo de investigación y por su apoyo constante para la realización de este proyecto.

Al **DR. ADALBERTO BENAVIDES MENDOZA** por su apoyo y sugerencias acertadas en la revisión final de este trabajo de investigación

A la **DRA. NORMA A. RUÍZ TORRES** por el apoyo y la disposición para la revisión y asesoría de este trabajo de investigación.

A los **MAESTROS (AS)** que me impartieron clases, por haberme enseñado sus conocimientos, los cuales hoy se ven reflejados en la culminación de este sueño.

A mis **COMPAÑEROS** que hicieron más agradable mi estancia en esta universidad. Y en especial a mis amigos Lic. Jorge A. Maza Mazariegos y Lic. Didier A. García Jiménez por su apoyo, consejos y sugerencias para la elaboración y culminación de este trabajo.

A la **T.L.Q. Ma. De JESÚS SÁNCHEZ VELÁSQUEZ**, por el apoyo en la realización de las técnicas de laboratorio, por la confianza y amistad que me brindó.

A el **T.L.Q. CARLOS ALBERTO ARÉVALO SANMIGUEL**, por el apoyo completo e incondicional que me brindó en el trabajo de laboratorio, especialmente en la determinación de digestibilidad *in vitro*; por sus consejos acertados, por haberme dedicado su tiempo; y sobre todo, por su gran amistad y confianza.

Al **CONACYT** por el apoyo económico que me otorgó a través de beca - tesis en el proyecto 41264-Z.

## DEDICATORIAS

### A Dios

Por darme la gran oportunidad de quedarme en esta vida y aun permanecer en ella, hoy quiero agradecerte infinitamente que fortalecieras mi flaqueza, haciéndome caminar por tus senderos, siempre iluminada de paz y amor. Hoy veo las huellas que eh dejado atrás; han traído frutos y tropiezos, han traído alegrías y tristezas, siempre a tu lado Señor eh caminado, de ti y de mi familia me he apoyado y me han llenado de dichas. Hoy quiero agradecerte tantas bendiciones...

### A mis padres y hermano:

#### **Benito Nava, Gregoria Sámano y Marcos Nava Sámano.**

Aunque no estén conmigo y aunque no tuve la gran oportunidad de conocerlos, les agradezco de todo corazón el haberme dado la vida y el haberme dejado en manos de los seres más maravillosos del mundo.

### A mis abuelos:

#### **Encarnación Sámano (q.e.p.d) y Nicanora Fuentes (q.e.p.d.)**

Aunque no estén conmigo en esta etapa tan importante, los recuerdo, los extraño, los quiero y siempre ocuparan un lugar muy especial en mi corazón.

#### **José Nava (q.e.p.d) y Felicitas Trejo.**

Aunque no eh convivido con ustedes lo suficiente, los quiero, los respeto y siempre vivirán en mi corazón.

### A mi madre:

#### **A. Bernardita Sámano Fuentes**

Por dejarme entrar en su vida y permitirme crecer junto a ella, brindándome tranquilidad y dándome el amor más grande que una madre puede dar; la cual es el ejemplo más grande a seguir; porque es y será siempre mi fuerza para vivir. Gracias a ti y por ti eh llegado hasta donde ahora estoy, te quiero y te admiro...

### A mis padres:

#### **Juan Sámano Fuentes y Agustina Garduño de la Luz**

Por permitirme entrar en su familia y formar parte de ella, por ser una fuente interminable de apoyo y que con su cariño y consejos han hecho de mi lo que ahora soy. Gracias por todo; los quiero y admiro...

### A mis hermanos:

#### **Ing. Daniel, Ing. Elizabeth y Lic. Ismael Sámano Garduño**

Por aceptarme como soy, por quererme como una hermana más, por estar conmigo en todos mis aciertos y ayudarme a superar todos mis tropiezos y por ser mi fuerza para salir adelante. Los admiro y los quiero.

A mi primo:

**José Antonio Zúñiga Sámano.**

Por que con su cariño ha sido una motivación en este camino, por comprender y aceptar todos mis defectos y porque siempre esta cuando lo necesito. Te quiero mucho...

A las familias:

**Sámano Valdez (Daniel y Lizbeth).**

Por preocuparse por mi, aun cuando nuestras vidas tomaron caminos distintos, por compartir conmigo experiencias y consejos que me ayudaron a sacar adelante este trabajo y sobre todo por el gran cariño que me brindan día con día .Los quiero...

**Sámano Saavedra (José y Cecilia).**

Por el apoyo que me han brindado a lo largo de este camino, por impulsarme a alcanzar este sueño y porque ocupan un lugar muy importante en mi corazón. Los quiero...

**Zúñiga Amaro (Bibiano, Rosa y Ernesto).**

Por el apoyo incondicional que me brindaron, por esas palabras de aliento que me ayudaron a hacer el camino más corto, por haberlos conocido y por formar parte de mi vida. Los quiero...

A mis amigas (os):

**Maribel Zúñiga A., Ing. Laura L. M. Walle, Ing. Rosalinda Vara R., Ing. Luis A. Landin R., Victoria Cruz Gómez P.; y por último, y no por ser menos importante, pero si especialmente a Ing. A. Patricia Villarreal Martínez.**

Por formar parte de mi vida, por todos los momentos maravillosos que hemos compartido juntos, por escuchar mis ideas y proyectos, por entender mis dudas y mis miedos y por motivarme a seguir este y cada uno de mis sueños. Los quiero...

A mis sobrinos (as):

**Ángel Alexis y Alison Michelle (Mary y Ale), Estrella (Ceci y José), y a Ariadna Shirel (Rosy y Luis).**

Porque con su presencia y sonrisa dan alegría a mi vida, por formar parte de la vida de las personas que más aprecio y quiero. Y por ser una luz de ternura y paz para nuestras vidas.

**A toda la familia Nava y Sámano,** que de una u otra manera colaboraron, tanto en mi formación educativa y profesional.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

|                                                                                            | Página   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| AGRADECIMIENTOS.....                                                                       | iii      |
| DEDICATORIAS.....                                                                          | iv       |
| ÍNDICE DE CUADROS.....                                                                     | viii     |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....                                                                     | ix       |
| RESUMEN.....                                                                               | x        |
| INTRODUCCIÓN.....                                                                          | 1        |
| <b>CAPÍTULO 1.....</b>                                                                     | <b>3</b> |
| 1.1 Objetivo general.....                                                                  | 3        |
| 1.2 Objetivos específicos.....                                                             | 3        |
| 1.3 Hipótesis.....                                                                         | 3        |
| <b>CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>                                             | <b>4</b> |
| 2.1 Maíz un cereal muy nutritivo.....                                                      | 4        |
| 2.1.1 Hidratos de carbono.....                                                             | 4        |
| 2.1.2 Lípidos o grasas.....                                                                | 4        |
| 2.1.3 Proteínas.....                                                                       | 4        |
| 2.1.4 Fibra.....                                                                           | 4        |
| 2.1.5 Vitaminas.....                                                                       | 4        |
| 2.1.6 Minerales.....                                                                       | 5        |
| 2.2 Utilización del maíz.....                                                              | 5        |
| 2.3 Industrialización del maíz.....                                                        | 5        |
| 2.3.1 Alimentos mezclados, concentrados o balanceados.....                                 | 9        |
| 2.3.2 Industria de fermentación y destilería.....                                          | 9        |
| 2.3.3 Industria de molienda en húmedo.....                                                 | 9        |
| 2.3.4 Industria de molienda en seco.....                                                   | 9        |
| 2.3.5 Elaboración de tortillas.....                                                        | 9        |
| 2.4 Potencial forrajero de poblaciones de maíz.....                                        | 10       |
| 2.5 Composición química de la planta.....                                                  | 11       |
| 2.6 Importancia de los maíces para la producción de ensilaje.....                          | 12       |
| 2.7 Digestibilidad en forrajes.....                                                        | 12       |
| 2.8 Factores que afectan el valor nutritivo, calidad y digestibilidad de los forrajes..... | 16       |
| 2.9 Maíz como forraje.....                                                                 | 16       |

|                                                                   |               |
|-------------------------------------------------------------------|---------------|
| <b>CAPÍTULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>                      | <b>17</b>     |
| 3.1 Material genético y establecimiento experimental.....         | 17            |
| 3.1.1 Unidad de muestreo.....                                     | 18            |
| 3.1.2 Tratamientos.....                                           | 18            |
| 3.2 Procedimiento para la determinación del análisis químico..... | 18            |
| 3.2.1 Recolección de las muestras.....                            | 19            |
| 3.2.2 Secado de las muestras frescas.....                         | 19            |
| 3.2.3 Molienda de las muestra secas.....                          | 19            |
| 3.2.4 Determinación de materia seca parcial (MSP).....            | 20            |
| 3.2.5 Determinación de materia seca total (MST).....              | 20            |
| 3.2.6 Determinación de humedad.....                               | 20            |
| 3.2.7 Determinación de ceniza.....                                | 20            |
| 3.2.8 Determinación de proteína (Método Kjeldhal).....            | 21            |
| 3.2.9 Determinación de extracto etéreo (Método Soxhlet).....      | 21            |
| 3.2.10 Determinación de fibra cruda.....                          | 21            |
| 3.2.11 Determinación de digestibilidad <i>in vitro</i> .....      | 21            |
| 3.3 Diseño experimental y análisis.....                           | 22            |
| 3.3.1 Análisis de digestibilidad <i>in vitro</i> .....            | 22            |
| 3.3.2 Análisis bromatológico.....                                 | 22            |
| <br><b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>                | <br><b>23</b> |
| <br><b>CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES.....</b>                          | <br><b>32</b> |
| <br><b>CAPÍTULO 6. RECOMENDACIONES.....</b>                       | <br><b>33</b> |
| <br><b>CAPÍTULO 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>            | <br><b>34</b> |
| <br><b>APÉNDICE.....</b>                                          | <br><b>38</b> |

## ÍNDICE DE CUADROS

|                                                                                                                                                                     | <b>Página</b> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 2.1 Diferencias entre el uso del maíz.....                                                                                                                          | 5             |
| 2.2 Por ciento promedio en la planta y análisis químico proximal de la<br>planta de maíz en varios estadios.....                                                    | 11            |
| 2.3 Componentes nutricionales de diferentes partes del maíz (base<br>seca).....                                                                                     | 11            |
| 2.4 Por ciento promedio de los componentes nutricionales del maíz<br>(base húmeda).....                                                                             | 12            |
| 2.5 Proporción de elementos nutritivos de maíz, cortado en distintas<br>etapas.....                                                                                 | 12            |
| 3.1 Material genético utilizado en las determinaciones químicas.....                                                                                                | 17            |
| 4.1 Cuadrados medios del análisis de varianza para las determinaciones<br>de digestibilidad <i>in vitro</i> materia seca (DIVMS) y materia orgánica<br>(DIVMO)..... | 23            |
| 4.2 Medias de materiales genéticos en las determinaciones de<br>digestibilidad <i>in vitro</i> materia seca (DIVMS) y materia orgánica<br>(DIVMO).....              | 24            |
| 4.3 Cuadrados medios del análisis de varianza para las determinaciones<br>del análisis bromatológico.....                                                           | 26            |
| 4.4 Medias de los materiales genéticos en las determinaciones del<br>análisis bromatológico.....                                                                    | 27            |
| 4.5 Coeficientes de correlación entre las determinaciones del análisis<br>bromatológico.....                                                                        | 33            |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                       | <b>Página</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 2.1 La agricultura es industria.....                                                                                                                  | 6             |
| 2.2 Utilización del maíz.....                                                                                                                         | 7             |
| 2.3 Diagrama de flujo del manejo poscosecha e industrialización del maíz.....                                                                         | 8             |
| 4.1 Determinaciones de la digestibilidad <i>in vitro</i> de materia seca (DIVMS) y materia orgánica (DIVMO) de los materiales genéticos en estudio... | 24            |
| 4.2 Comparación de las determinaciones de proteína en la combinación del tamaño de muestra y los materiales genéticos evaluados.....                  | 28            |
| 4.3 Comparación de las determinaciones de grasa en la combinación del tamaño de muestra y los materiales genéticos evaluados.....                     | 28            |
| 4.4 Comparación de los valores de fibra cruda en la combinación del tamaño de muestra y los materiales genéticos evaluados.....                       | 29            |
| 4.5 Comparación de los valores de proteína en la combinación de materiales genéticos y tratamientos evaluados.....                                    | 30            |
| 4.6 Comparación de los valores de grasa en la combinación de materiales genéticos y tratamientos evaluados.....                                       | 31            |
| 4.7 Comparación de los valores de fibra cruda en la combinación de materiales genéticos y tratamientos evaluados.....                                 | 32            |

## RESUMEN

El maíz es uno de los tres cereales más importantes a nivel mundial y en número uno en México. el ascenso que presenta la producción maicera obedece a la diversidad de aplicaciones que se le han encontrado y los que a su vez se utilizan en la confección de cientos de productos de aceptación generalizada y por lo tanto de importancia económica. Son importantes los desarrollos industriales alcanzados en la extracción de las partes constitutivas del grano y la eficiencia actual en la molienda, transformación, procesos enzimáticos de fermentación, además de la producción de alimentos balanceados de utilización pecuaria, incluyendo ensilajes de maíz.

El presente trabajo de investigación tuvo la finalidad de analizar los factores asociados con las determinaciones de calidad nutricional en plantas de maíz, como la influencia del tamaño de muestra (una a cinco plantas como muestra experimental), el análisis comparativo de poblaciones de maíz con base en muestras frescas y secas. Se utilizaron siete materiales genéticos, dos poblaciones de amplia base genética, dos variedades mejoradas y tres híbridos, los cuales fueron establecidos en siembras repetidas en El Prado, Galeana, N. L.

Las muestras de material experimental fueron obtenidas de acuerdo al establecimiento del experimento, combinación de tratamientos, factores y el material genético en estudio. Tanto el análisis físico - químico, como la determinación de digestibilidad *in vitro*, fueron realizados en el laboratorio de Nutrición y Alimentos de la universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, evaluando las siguientes características: materia seca total (MST), humedad (HUM), ceniza, proteína (PROT), grasa, fibra cruda (FIBRAC), digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) y materia orgánica (DIVMO).

Los análisis de varianza no mostraron diferencia en el tamaño de muestra en todas las determinaciones, por lo tanto, la calidad nutricional puede ser obtenida por una o cinco plantas representativas por parcela de manera similar. La diferencia entre los materiales genéticos ( $P < 0.01$ ) es explicable debido a la amplia diversidad en la constitución genética (poblaciones, variedades e híbridos). Los métodos (muestras frescas y secas) fueron comparativamente diferentes ( $P < 0.01$ ) debido a que en las muestras frescas existe mayor contenido de agua, en tanto que en las secas, hay una gran concentración de sólidos. La definición de los criterios de muestreo en plantas de maíz no modificó las determinaciones de calidad, lo cual repercute directamente en la obtención de la muestra por requerir menos material experimental para los análisis.

## INTRODUCCIÓN

El maíz es uno de los tres cereales más importantes a nivel mundial (además del arroz y trigo), y el número uno en México. El ascenso que presenta la producción maicera obedece a la diversidad de aplicaciones que se le han encontrado a las partes constitutivas del grano y de donde se derivan: almidones, harinas, aceites, jarabes, alcohol, entre otros. Los que a su vez se utilizan en la confección de cientos de productos de aceptación generalizada y, por lo tanto, de importancia económica.

La posición de privilegio que alcanza el maíz en la evolución de la cultura global actual, tiene sus bases en prácticas agrícolas que permiten altos rendimientos por unidad de superficie cultivada, alta disponibilidad del grano, alto contenido de almidón en este, y un bajo precio en el mercado mundial de los cereales. En ello también son importantes los desarrollos industriales alcanzados en la extracción de las partes constitutivas del grano y la eficiencia actual en molienda, transformación, procesos enzimáticos de fermentación, además de la producción de alimentos balanceados de utilización pecuaria, incluyendo los ensilajes de maíz.

El maíz como base de la alimentación mexicana y de otros pueblos latinoamericanos tiene diversas aplicaciones culinarias donde el grano es consumido en muy variadas formas, existiendo por lo regular para muchas de ellas un tipo de maíz especial. Dentro de la amplia variación de usos la forma más popular de consumo es la tortilla, la cual ha originado diferentes tendencias.

En la industria también son utilizados los maíces con características específicas para usos especiales, así se tiene que los maíces dulces son apreciados para verdura en fresco o enlatados, el maíz palomero para la elaboración de palomitas y confituras (Smith y Branson, 1946; Smith 1955).

El almidón de los maíces con alto contenido de amilosa es valioso para plásticos, celofanes y películas fotográficas (Kramer y Whistler, 1949).

En las determinaciones de calidad, el conocimiento y control de los factores asociados a la repetibilidad y confiabilidad son temas de interés en los trabajos de investigación. En este sentido, es conveniente el estudio relacionado con la comparación del contenido nutrimental de la misma planta de maíz, sea esta en base fresca o seca, así como saber en que condición es mas preferible usarse en el análisis bromatológico. Asimismo, el tamaño muestral en la población constituye un factor que puede asociarse a la eficiencia en las determinaciones. Es por eso que se ha realizado este trabajo de investigación, para estudiar algunos de estos factores que determinan la confiabilidad y la discriminación de la calidad en maíz.

# CAPÍTULO 1

## 1.1 OBJETIVO GENERAL

- Análisis de factores de la muestra que potencialmente modifican los resultados de las determinaciones de calidad nutricional en plantas de maíz (*Zea mays* L.).

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Estudiar la influencia del tamaño de muestra en las determinaciones de calidad nutricional de maíz.
2. Análisis comparativo de las determinaciones de calidad de poblaciones de maíz con base en muestras frescas y secas.

## 1.3 HIPÓTESIS

- La definición de los criterios de toma de muestra en plantas de maíz puede mejorar la eficiencia en las determinaciones de calidad. Es posible encontrar una asociación directa en el contenido nutricional determinado con base en muestras frescas y secas.

## **CAPÍTULO 2**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

#### **2.1 MAÍZ, UN CEREAL MUY NUTRITIVO**

El maíz es un cereal de alto valor nutritivo debido a su elevado contenido en hidratos de carbono, grasas y proteínas, así como vitaminas y minerales diversos (Hernández, 1972).

**2.1.1 Los hidratos de carbono:** Están constituidos por azúcares y almidón, fundamentalmente. Conforme el grano madura, aumenta su contenido en almidón. Se trata de hidratos de carbono fácilmente digeribles y asimilables.

**2.1.2 Lípidos o Grasas.** El maíz destaca por ser un cereal rico en grasas, sobre todo poliinsaturadas (ácido linoleico principalmente). Contiene el doble de grasa que el trigo y la cebada, aunque no tanto como la avena.

**2.1.3 Proteínas.** La proteína más abundante del grano de maíz es la zeína y, aunque contiene casi todos los aminoácidos esenciales, es deficitario en lisina, como todos los cereales, y en triptófano. No contiene gluten, como el trigo o el centeno.

**2.1.4 Fibra.** El maíz es una buena fuente de fibra de ambos tipos, soluble e insoluble.

**2.1.5 Vitaminas.** El maíz es una buena fuente de vitaminas del grupo B, así como de betacaroteno y zeaxantina, precursores de la vitamina A. El maíz es el único cereal que aporta betacaroteno. Además contiene cantidades moderadas de vitamina C y niacina (una vitamina del grupo B).

**2.1.6 Minerales.** Aporta cantidades interesantes de potasio, fósforo, magnesio, manganeso y hierro, aunque es pobre en calcio.

## **2.2 UTILIZACIÓN DEL MAÍZ**

**Cuadro 2.1 Diferentes usos del maíz.**

| GRANO                         | PLANTA                    | MAZORCA                 |
|-------------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Alimentación humana           | Forraje verde             | Elote – alimento humano |
| Alimentación del ganado       | Ensilado                  | Forraje tosco           |
| Materia prima en la industria | Rastrojo, forraje tosco   | Olote (combustible)     |
| Semilla                       | Materia orgánica al suelo |                         |

Fuente: Reyes (1990).

Según Reyes (1990), los países que mas consumen maíz son los “países desarrollados”, maíz transformado en huevo, carne, leche, derivados, y productos de la industria.

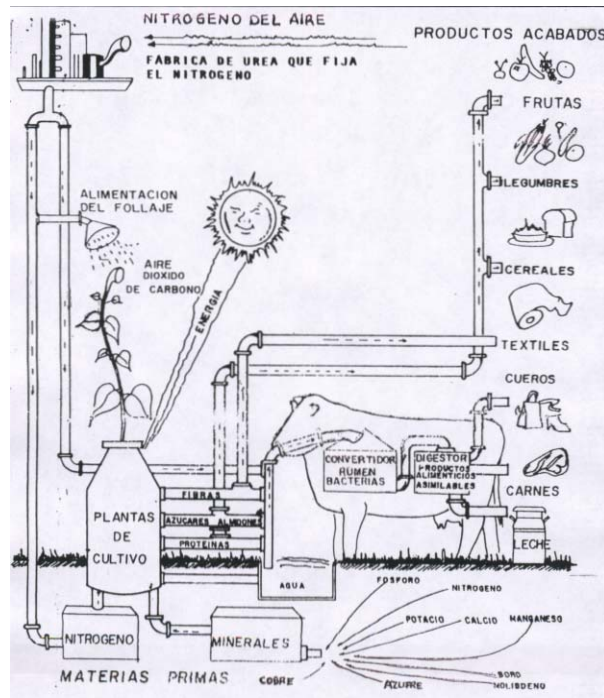
En México, el maíz tiene escaso uso ganadero, se aprovecha directamente como alimento humano (tortillas, elote, etc.), o como materia prima en la industria alimentaria (harina, maicena, aceite, mieles, etc.) e industria diversa (Figura 2.1).

El maíz es materia prima en la industria básica para producir artículos que son utilizados como insumos de la industria complementaria o como productos para consumo final. La Figura 2.2 resume el aprovechamiento del maíz en la alimentación humana y en la ganadería.

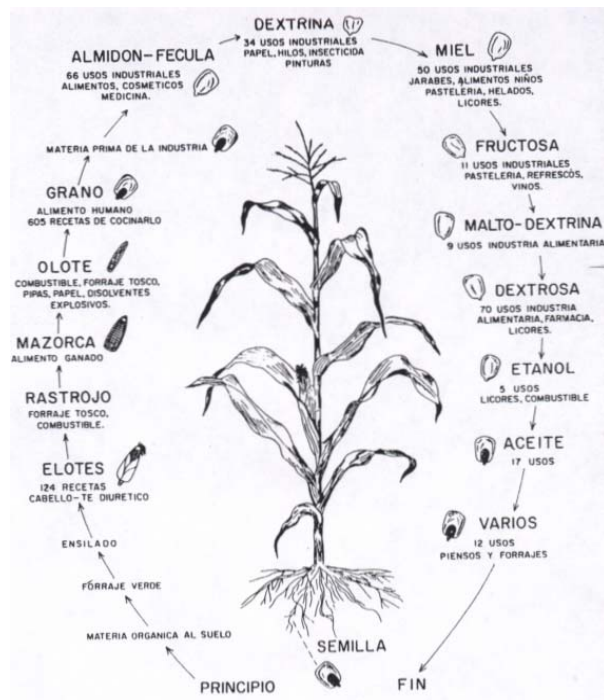
## **2.3 INDUSTRIALIZACIÓN DEL MAÍZ**

En la figura 2.3, se indica el manejo poscosecha e industrialización del maíz.

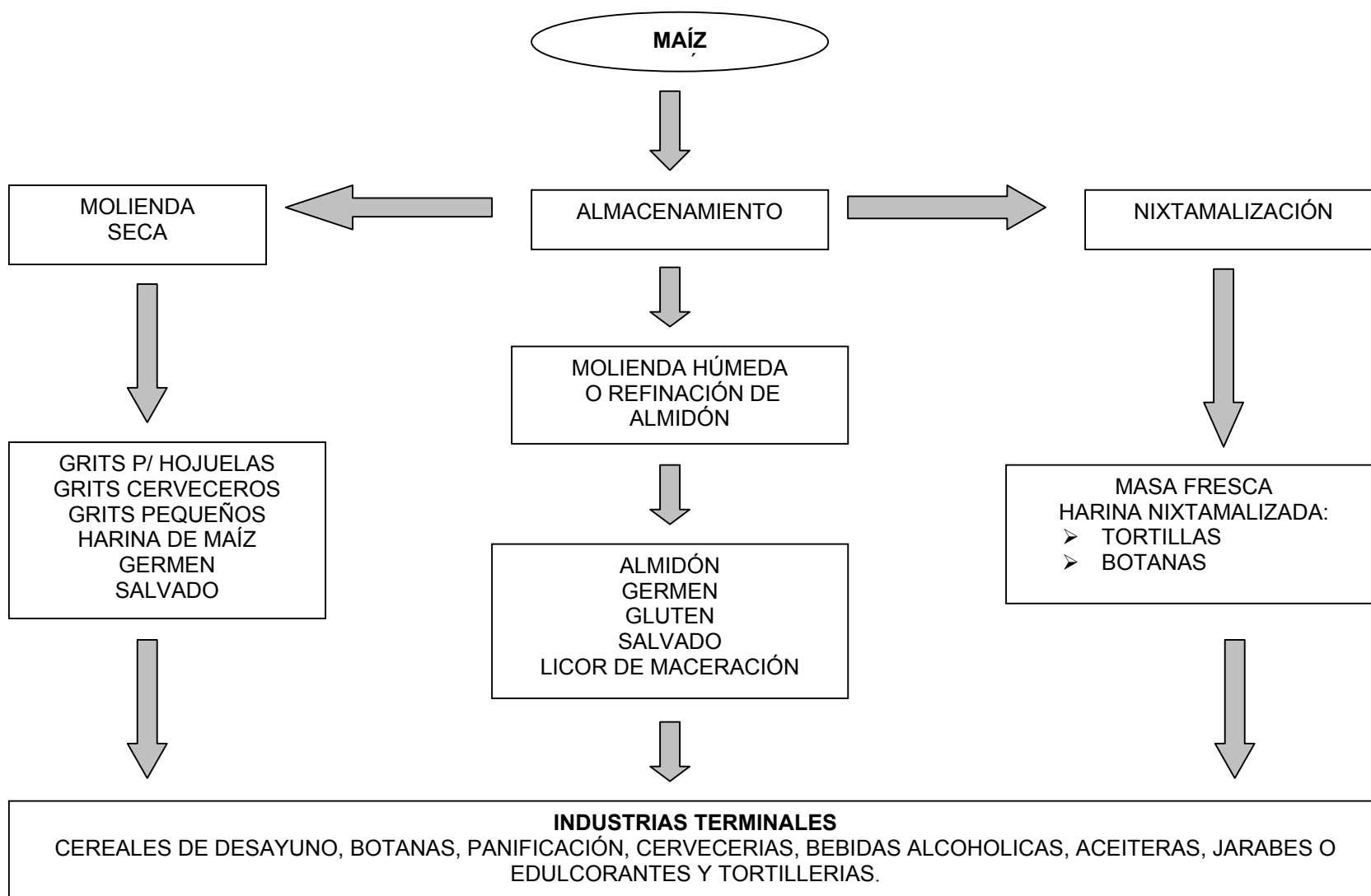




**Figura 2.1 La agricultura es industria. Las cosechas y el ganado transforman las materias primas en productos de consumo para la vida diaria.**



**Figura 2.2 Utilización del maíz.**



**Figura 2.3** Diagrama de flujo del manejo poscosecha e industrialización del maíz.

### **2.3.1 INDUSTRIAS BÁSICAS QUE PROCESAN PRODUCTOS DIRECTOS Y SUBPRODUCTOS DEL GRANO DE MAÍZ**

**2.3.1.1 Alimentos mezclados, concentrados o balanceados, obtenidos del grano blanco o amarillo, o de la mezcla de subproductos de la industria.** Algunos subproductos derivados del maíz son ricos en proteínas (Ej.: gluten de maíz), o aceite, los cuales son ingredientes en la formulación completa manufactura de alimentos mezclados, concentrados o balanceados.

**2.3.1.2 Industrias de fermentación y destilería.** Debido al alto contenido de almidón en los granos de maíz y los azúcares obtenidos de los mismos, proveen a las industrias fermentadoras y destilerías, con una fuente disponible y económica de carbohidratos.

**2.3.1.3 Industria de molienda en húmedo.** El propósito principal de esta industria, llamado también refinación del maíz, es la fabricación del almidón puro del maíz (harina de maíz). La separación de las partes de la semilla en el molino depende en gran parte del uso de agua, además de otros procesos químicos o enzimáticos para convertir el almidón a jarabes y azúcar. En la Figura 2.3, se muestran en forma simplificada los pasos involucrados en el proceso de refinación en húmedo.

**2.3.1.4 Industria de molienda en seco.** Actualmente, los grandes molinos modernos emplean un sistema de molino que remueve casi completamente el embrión y el pericarpio para la producción de sémola (producto utilizado industrialmente para la manufactura de hojuelas de maíz) y harina de maíz.

**2.3.1.5 Elaboración de la tortilla con maíz.**

## 2.4 POTENCIAL FORRAJERO DE POBLACIONES DE MAÍZ

El maíz es un cultivo adaptado a una gran diversidad de ambientes y se caracteriza por tener una alta capacidad de producción de materia seca, que lo hace atractivo como forraje para la producción de leche.

Por lo general, el maíz forrajero es seleccionado arbitrariamente por su capacidad productora de materia seca, y poco interés se ha puesto en mejorar su calidad nutritiva. Los datos indican que existe amplia variabilidad en la digestibilidad del rastrojo, grano, tallo y hojas en los maíces en uso (Núñez *et al.*, 1999).

Adicionalmente se ha determinado que la variabilidad de la digestibilidad es mayor en la parte vegetativa que en el grano de tal manera que la selección por calidad del forraje podría favorecer avances más notables. Hay también ejemplos, en los cuales no se ha encontrado variación para digestibilidad en grano, ni de la planta total, pero si diferencias importantes en producción de materia seca total y del forraje (Marten y Barnes, 1980).

Con algunas excepciones la proporción de grano en las mazorcas se correlaciona de manera alta y significativa con la digestibilidad de la planta total, esto significa que la selección de materiales con alta proporción de mazorcas, podría favorecer una mayor calidad forrajera. Al respecto se ha señalado, que con una proporción de mazorca superior al 54 % se puede asegurar una digestibilidad *in vitro* mayor de 68 % y una energía neta de lactancia de 1.5 mega calorías o más por kilogramo de materia seca; con lo cual se puede incrementar el nivel productivo de las vacas lecheras y reducir sustancialmente el costo de alimentación (Herrera, 1999).

## 2.5 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA PLANTA

La planta de maíz es un excelente forraje al consumirse verde, ensilado, henificado o aun en el rastrojo. En la primavera de 1970, en el Campo Agrícola Experimental de Apodaca, Nuevo León (ITESM), se sembraron 10 variedades de maíz con el objeto de estimar la producción de forraje cuando la planta se corta al estado masa del grano, que en el ejemplo ocurrió a los 94 días. El análisis químico proximal que se obtuvo de los órganos, tallo, hoja y elotes se muestran en el Cuadro 2.2.

**Cuadro 2.2** Por ciento promedio en la planta y análisis químico proximal de la planta de maíz en varios estadios. (Datos de 10 variedades sembradas en Apodaca, N.L. en la primavera de 1979).

|                   | Proteína<br>(N x 6.25) | Grasa | Fibra | Ceniza |
|-------------------|------------------------|-------|-------|--------|
| <b>Tallo</b>      | 5.8                    | 0.4   | 36.0  | 7.1    |
| <b>Hoja</b>       | 11.5                   | 1.1   | 27.4  | 11.9   |
| <b>Elote</b>      | 9.4                    | 1.1   | 18.1  | 2.6    |
| <b>Grano seco</b> | 10.5                   | 4.2   | 2.5   | 2.0    |

Fuente: (Reyes,1990)

Los valores indicados señalan que el maíz es un forraje verde de alto valor nutritivo como fuente de energía, dada por los carbohidratos. Son deseables variedades de maíz con bajos porcentajes de tallo y altos porcentajes de hoja y elote por sus contenidos de carbohidratos y proteínas.

**Cuadro 2.3** Componentes nutricionales de diferentes partes del maíz (base seca).

| Nutrientes              | Mazorca | Grano | Ensilado |
|-------------------------|---------|-------|----------|
| <b>Materia seca (%)</b> | 87.0    | 89.0  | 35.0     |
| <b>Proteína (%)</b>     | 9.3     | 10.0  | 8.1      |
| <b>Fibra cruda (%)</b>  | 9.3     | 2.2   | 24.4     |

Fuente: Elaborado por el CDIA con datos de la publicación *Valor Nutritivo de los Alimentos Mexicanos* de la división de Nutrición del Instituto Nacional de la Nutrición, México, 1977.

**Cuadro 2.4** Por ciento promedio de los componentes nutricionales del maíz (base húmeda).

| Componente            | Verde con mazorca | Verde forraje |
|-----------------------|-------------------|---------------|
| <b>Proteína cruda</b> | 4.8               | 1.5           |
| <b>Grasa cruda</b>    | 1.4               | 0.3           |
| <b>Fibra cruda</b>    | 16.7              | 3.3           |
| <b>Cenizas</b>        | 3.6               | 1.0           |

Fuente: (Flores, 1975)

**Cuadro 2.5** Proporción de elementos nutritivos de maíz, cortado en distintas etapas.

| Componente         | En panoja | Principio | En leche | En masa | Maduro |
|--------------------|-----------|-----------|----------|---------|--------|
| <b>Grasa (%)</b>   | 0.3       | 0.6       | 0.7      | 0.3     | 1.1    |
| <b>Cenizas (%)</b> | 0.7       | 0.7       | 0.7      | 0.9     | 1.2    |
| <b>Agua (%)</b>    | 91.0      | 88.0      | 85.7     | 74.7    | 72.7   |

Fuente: (Flores, 1975)

## 2.6 IMPORTANCIA DE LOS MAICES PARA LA PRODUCCIÓN DE ENSILAJE

Muchas veces se asume que el termino calidad se refiere solo a la concentración de ciertos nutrientes como son proteína cruda y fibra en un forraje, o bien a la proporción de grano en la planta. Aun cuando esto es importante, los valores que dan más información acerca del verdadero valor nutritivo de un forraje, y por tanto su calidad son su digestibilidad y el efecto que provoca en el animal que lo consume, lo cual se mide en la producción de leche o en crecimiento (ganancia de peso y altura). Dentro de los criterios de calidad para fuentes forrajeras, para la digestibilidad de la materia seca, se considera de baja calidad si tiene menos del 60 % y de alta calidad si tiene más del 65 % (Herrera, 1999).

## 2.7 DIGESTIBILIDAD EN FORRAJES

Durante algún tiempo se creyó que la relación entre consumo y digestibilidad era tan exacta, que seria posible predecir que cantidad de un determinado forraje comería un animal sabiendo la digestibilidad de este; es decir, se podría determinar el consumo de nutrientes directamente a partir de gráficos.

Sin embargo, actualmente se sabe que pueden existir diferencias considerables de consumo entre forrajes distintos, aunque tengan el mismo nivel de digestibilidad (Raymond *et al.*, 1977).

La digestibilidad de los forrajes por parte del animal, es mayor en estado verde y ensilado, que el los henificados o deshidratados; si es cortado el forraje antes de iniciar la floración, el grado de digestibilidad puede considerarse absoluto, la digestibilidad relativa de los forrajes por parte del animal depende del estado de desarrollo de la planta al ser cortada (Hernández, 1994).

En la digestibilidad del forraje, la grasa juega un papel importante y su contenido aumenta el coeficiente de digestibilidad de los glucósidos y muy especialmente de los prótidos. Cuanto más digestible es un forraje, menos necesidad tendrá el animal de completar su ración a base de otros alimentos más concentrados, y sus requerimientos alimenticios indispensables serán mayores si la explotación esta basada en el trabajo de la producción de carne o leche. Ya que por consumir en tales casos un mayor número de calorías que no pueden aportar los forrajes aunque sean deshidratados, el animal sufriría de carencias, traducidas a enfermedades (Juscafresa, 1974).

La técnica de digestibilidad *in vitro* se ha constituido en la prueba de rigor para los forrajes. Esta consiste en dos etapas: una de fermentación de 48 horas, donde se incuba la muestra con licor ruminal uniformizado; y otra de digestión con pepsina en medio ácido. La técnica *in vitro* fue desarrollada por Clark y Mott, sin embargo la paternidad de la misma se le atribuye a Tilley y Terry (1963), quienes fueron los primeros que probaron la técnica utilizando muestras de forrajes templados, cuya digestibilidad *in vivo* era conocida (Castillo, 1988).

Los métodos *in vitro* se emplean para predicción, teniendo por referencia valores *in vivo*, los cuales a su vez pueden tener errores cuando se realizan incorrectamente muchas de las etapas del método, que envuelven el manejo del

material biológico, teniendo la característica de disminuir la digestibilidad. Estos factores son de naturaleza aditiva y no se compensan entre ellos, y por tanto producen errores elevados (Alexander, 1967; Raymond, 1967).

La digestibilidad mide la desaparición de los nutrientes en su paso a través del tracto debido a la absorción. En el caso de los rumiantes, particularmente, los coeficientes de carbohidratos complejos son siempre demasiado elevados como una medida de nutrientes absorbidos debido a las pérdidas gaseosas. El coeficiente de digestibilidad de la fibra cruda (FC) está sujeto a controversia porque una parte de los residuos no digeridos de este componente alimenticio no puede ser desdoblado en forma suficiente, como para aparecer en la porción de FC (Herrera, 1999).

Se han realizado muchos esfuerzos para desarrollar métodos que permitan estimar la digestibilidad en forma indirecta o bien por métodos *in vitro*. El contenido de la pared celular, lignina, hemicelulosa, sílice y proteína, se han usado en forma individual o en combinación para deducir la digestibilidad de la materia seca. Los procedimientos desarrollados por Tilley y Terry (1963) para determinaciones *in vitro* se han usado en forma amplia y exitosa (Maynard *et al.*, 1977).

Raymond (1967) comparó en 17 laboratorios de Estados Unidos de Norte América, la digestibilidad de una serie de forrajes empleando sus propias técnicas *in vitro*. La digestibilidad promedio después de 24 horas de incubación se extendió desde 40 a 63.9 % para la celulosa y de 38.7 % para la materia seca. A las 48 horas de incubación la dispersión fue menor, pero todavía fue muy elevada. Una parte de las diferencias se podría atribuir al periodo de tiempo que transcurría, en cada técnica, entre la preparación del inóculo y la máxima actividad de digestión.

Las diferencias en este tiempo se deben a la manera de preparar el inóculo del rumen (filtrado, lavado, centrifugado, etc.). Sin embargo, se pueden atribuir también, a otros factores como el grado de control del pH y en algunos casos a



diferencias en el gaseado con CO<sub>2</sub>. Estos resultados indican claramente que hay necesidad de estandarizar las técnicas cuando se van a comparar los resultados de varios centros de trabajo, indica además que debe reconocerse que el sistema de digestibilidad *in vitro* de dos fases, no simula exactamente la digestibilidad *in vivo*.

Además, en vista de que el sistema fue desarrollado y probado primordialmente en forrajes verdes, las condiciones estándar adoptadas pueden no aplicarse a toda clase de alimentos. Hay dos clases de errores que deben ser considerados: errores derivados de estandarización inadecuada y errores provenientes del uso de método en alimentos inadecuados.

Si se alimenta el animal donador de líquido ruminal con forrajes pobres, bajos en proteína la correlación *in vitro* se reduce. Para forrajes bajos en grasa, la digestibilidad de la materia orgánica en 100 g de muestra seca es igual a los nutrientes digestibles totales (Tejada, 1992).

La proporción de concentrado en la ración afecta a la digestión ruminal a través de diversos mecanismos, entre los que destacan las modificaciones que produce en el crecimiento y/o actividad de los microorganismos ruminales (Mould, 1988). Debido a que la población microbiana ruminal se ve afectada por numerosos factores, la procedencia del inóculo ruminal se considera la mayor fuente de variación en la determinación de la digestibilidad *in vitro* DIV (Marten y Barnes, 1980).

En este sentido, la ración ingerida por los animales empleados como donantes ha sido señalada como uno de los principales factores que afecta al número y actividad de los microorganismos ruminales y que, consecuentemente, puede afectar a los valores de la DIV de los alimentos (Weiss, 1994).

## **2.8 FACTORES QUE AFECTAN EL VALOR NUTRITIVO, CALIDAD Y DIGESTIBILIDAD DE LOS FORRAJES**

Robles (1983) menciona que aun cuando las primeras fases de crecimiento de las plantas son muy ricas en cuanto a producción de nutrientes, no son las fases propias para el corte debido a la escasez de rendimientos de forraje y un alto contenido de humedad que entorpecerá su henificación, por lo cual es más conveniente determinar la época de corte en que se pueda obtener la máxima cantidad de forraje sin menoscabo de las cualidades nutritivas del mismo.

Howarth y Gopen (1983) concluyeron que la composición nutritiva digestibilidad, palatabilidad y ausencia de alimentos antinutritivos son las principales características de los forrajes. Indico que el mejoramiento orientado a la calidad forrajera es lento y a largo plazo, pero pequeños avances en la digestibilidad animal pueden dar un mejoramiento substancial en la productividad animal.

Imshenetskii (1979) determinó la acumulación de materia seca y proteína bruta en plantas de maíz, indicó que hay una correlación negativa entre el incremento de materia seca acumulada por las plantas y el contenido de proteína bruta en el grano.

## **2.9 MAÍZ COMO FORRAJE**

Morrison (1965) afirma que aun cuando el maíz se cultiva para grano, una parte apreciable del valor nutritivo de la cosecha se encuentra en el rastrojo y comprobó que éste tenía aproximadamente la cuarta parte de las proteínas digestibles y una cuarta parte de la energía neta de la cosecha. Además indica que en el caso de no utilizar el rastrojo se estaría desperdiciando el 47% de los principios nutritivos digestibles totales, los cuales la mayor parte se encuentra en las hojas.

## CAPÍTULO 3

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 MATERIAL GENÉTICO Y ESTABLECIMIENTO EXPERIMENTAL

El presente trabajo consistió de dos etapas generales, la primera para explorar el efecto del tamaño de muestra y factores ambientales en la determinación de análisis químicos; la segunda, para comparar las determinaciones químicas en base a muestras de materiales frescos y secos.

En el procedimiento de obtención de muestras se aprovechó las siembras de materiales genéticos diversos representados por dos poblaciones (Entrada 1 y 2), dos variedades (Entrada 3 y 4) y tres híbridos de maíz (Entrada 5, 6 y 7), los cuales fueron formados en la localidad de Tepalcingo, Mor. durante 2003-04, 2002-03 y en la localidad de la Piedad, Mich. según se describe en el Cuadro 3.1, los cuales se encontraban repetidos en bloques.

Las siete entradas fueron evaluadas en la localidad de El Prado, Galeana, N. L. durante la primavera del 2004.

**Cuadro 3.1. Material genético utilizado en las determinaciones químicas.**

| ENT | DESCRIPCIÓN   | TIPO DE MATERIAL | ORIGEN      | BLOQUES |      |      |
|-----|---------------|------------------|-------------|---------|------|------|
|     |               |                  |             | I       | II   | III  |
| 1   | C PRECOZ      | Población        | TEP04A 543# | 9103    | 9207 |      |
| 2   | CM Sel Precoz | Población        | TEP04A 130# | 9109    |      |      |
| 3   | CAFIME        | Variedad         | TEP04A 544# | 9104    | 9209 | 9310 |
| 4   | 6222          | Variedad         | TEP04A 548# | 9110    |      |      |
| 5   | 54 x 41       | Híbrido          | TEP03A      |         | 9210 |      |
| 6   | 55 x 56       | Híbrido          | TEP03A      | 9108    | 9206 |      |
| 7   | AN453         | Híbrido          | PIE03       | 9102    | 9204 |      |

TEP = Tepalcingo, Mor., PIE = La Piedad, Mich.

### **3.1.1 Unidad de Muestreo**

Además de los factores ambientales asociados con los bloques, se procedió a generar cinco tratamientos de muestreo a partir de cada combinación de material genético por bloque de siembra en el campo como sigue:

1. Obtención de la muestra a partir de una planta.
2. Obtención de la muestra a partir de dos plantas.
3. Obtención de la muestra a partir de tres plantas.
4. Obtención de la muestra a partir de cuatro plantas.
5. Obtención de la muestra a partir de cinco plantas.

En cada uno de los muestreos, se aprovechó la experiencia del investigador para identificar las plantas que en promedio representaban a los materiales genéticos. Es decir, el muestreo no fue aleatorio con el fin de explorar los niveles de eficiencia en la obtención de la muestra.

### **3.1.2 Tratamientos**

A partir de cada unidad de muestreo se procedió a obtener una muestra aleatoria del material previamente homogeneizado para establecer el factor de dos tratamientos: a) Análisis de muestras en fresco y b) El análisis químico con base en muestras secas.

## **3.2 PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE ANÁLISIS QUÍMICO**

El desarrollo experimental del presente trabajo se realizó como sigue:

### **3.2.1 Recolección de las muestras**

La obtención de las muestras experimentales fueron de acuerdo al establecimiento del experimento en combinación de tratamientos, factores y el material genético en estudio.

Terminada la recolección de las muestras, estas fueron llevadas al laboratorio dentro de una nevera, para evitar que perdieran humedad y para así poder realizar el análisis físico-químico.

El análisis físico-químico se basó en los procedimientos descritos en el AOAC (1980), y se realizaron en el Departamento de Nutrición y Alimentos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

En primer lugar se analizaron las muestras frescas, debido a que por su condición tendían a descomponerse más fácilmente. El almacenamiento de estas mientras transcurría el análisis se hizo en un congelador a una temperatura de aproximadamente 0° C.

### **3.2.2 Secado de las muestras frescas**

Se colocó aproximadamente un 50 % de cada muestra fresca en charolas de aluminio y se metieron a la estufa a una temperatura de 55 a 60° C durante 12 h, revisando constantemente que el secado quedara uniforme.

### **3.2.3 Molienda de las muestras secas**

La molienda de las muestras ya secas se realizó en el molino Willey con una malla de 1 mm, las cuales fueron depositadas en frascos de plástico para evitar que absorbieran más humedad de la ya contenida.

Las técnicas que a continuación se describen se encuentran en forma más detallada, en el apéndice.

#### **3.2.4 Determinación de Materia Seca Parcial (MSP)**

Se realizó mediante el secado de las muestras frescas en la estufa a una temperatura de 55 a 60° C, registrándose los pesos de las muestras frescas antes de ser sometidas al secado y de las muestras ya secas. Este procedimiento solo se realizó en las muestras frescas.

#### **3.2.5 Determinación de Materia Seca Total (MST)**

Se pesaron 2 g. de cada muestra y se colocaron en crisoles de porcelana previamente pesados, se metieron a la estufa a una temperatura de 100 a 103° C por 24 h. transcurrido el tiempo se sacaron y se enfriaron de 15 a 20 minutos en un desecador y posteriormente se registró el peso. Este procedimiento se realizó de la misma manera tanto para las muestras frescas como para las secas.

#### **3.2.6 Determinación de Humedad (HUM)**

La humedad tanto para las muestras frescas como las secas se determinó por diferencia de 100 menos los resultados obtenidos en la determinación de materia seca total (MST).

#### **3.2.7 Determinación de Ceniza**

Se pesaron 2 g. de cada muestra y se colocaron en crisoles de porcelana previamente pesados, se preincineraron en una parilla y se colocaron en una mufla marca Termolyne 200 a una temperatura de 600° C durante 3 h, después del tiempo transcurrido se sacaron y se pusieron en un desecador de 30 a 40

minutos y se registró el peso. Esta determinación se realizó tanto para las muestras frescas como las secas.

### **3.2.8 Determinación de Proteína (Método Kjeldhal)**

Se pesó 1 g. de cada muestra y se colocaron en papel filtro, se doblaron y se metieron cada uno en un matraz Kjeldhal, se colocaron en parillas para la digestión hasta obtener un color verde cristalino y se dejaron enfriar. Posteriormente se pusieron a destilar hasta recuperar 250 ml del destilado para poder finalmente titular.

### **3.2.9 Determinación de Grasa o Extracto Etéreo (Método Soxhlet)**

Para las muestras frescas se pesaron 4 g. de cada una, y en el caso de las muestras secas se pesaron solamente 2 g., posteriormente se colocaron en papeles filtro y se metieron en cartuchos de celulosa y se taparon con algodón para evitar que las muestras se salieran y se conectaron al Soxhlet. Se colocaron a extracción durante 12 h, utilizando hexano como solvente.

### **3.2.10 Determinación de Fibra Cruda (FIBRAC)**

Para este análisis, tanto en el caso de las muestras frescas como secas los pesos fueron variados, debido a que durante la extracción para obtener el contenido de grasa perdieron gran contenido de humedad, por lo tanto el peso no fue el indicado por la técnica.

### **3.2.11 Determinación de Digestibilidad *in vitro***

Se pesaron 0.5 g. de cada muestra seca y se realizaron 2 repeticiones por cada una de las mismas, colocándose en tubos de polietileno para digestibilidad para ser sometidos a fermentación anaeróbica con líquido ruminal, terminada esta

fermentación cada tubo se sometió a centrifugación y posteriormente a una digestión con pepsina ácida.

Transcurrido el tiempo las muestras fueron filtradas a vacío en papel filtro sin cenizas y se metieron a la estufa a secar a una temperatura de 50° C, finalmente cada papel filtro se preincineró y se metió a la mufla durante 3 h. a una temperatura de 600° C, registrando así los pesos tanto del papel filtro como de los crisoles.

### **3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS**

#### **3.3.1 Análisis de Digestibilidad *in vitro***

En la determinación de la Digestibilidad *in vitro* de Materia Seca (DIVMS) y de Materia Orgánica (DIVMO), se utilizó un diseño completamente aleatorio, con arreglo de tratamientos factorial de siete materiales genéticos por cinco unidades de muestreo (7 X 5).

#### **3.3.2 Análisis Bromatológico**

En la determinación del Análisis Bromatológico se utilizó un análisis de factores (5 X 7 X 2), correspondiente a cinco unidades de muestreo, siete materiales genéticos y dos métodos de análisis de muestras en un diseño completamente aleatorio.



## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La comparación del tamaño de muestra y diferencia de los materiales genéticos fueron analizados en la digestibilidad *in vitro* de materia seca (DIVMS) y materia orgánica (DIVMO), datos presentados en el Cuadro 4.1.

Los resultados del análisis de varianza no mostraron diferencia entre el tamaño de muestra en ambas variables, lo cual indica que en la determinación de la digestibilidad *in vitro* es similar entre una y cinco plantas de la parcela, tomadas como representativas de la misma (Cuadro 4.1). La diferencia entre materiales genéticos en la DIVMS ( $P < 0.01$ ) y DIVMO ( $P < 0.05$ ) es explicable debido a la amplia diversidad en la constitución genética (poblaciones, variedades e híbridos).

**Cuadro 4.1 Cuadrados medios del análisis de varianza para las determinaciones de digestibilidad *in vitro* materia seca (DIVMS) y materia orgánica (DIVMO).**

| <b>FV</b>       | <b>gl</b> | <b>DIVMS</b> | <b>DIVMO</b> |
|-----------------|-----------|--------------|--------------|
| Muestreos (MUE) | 4         | 7.518        | 2.391        |
| Entradas (ENT)  | 6         | 395.139 **   | 3.961 *      |
| ENT*MUE         | 24        | 20.371       | 2.000        |
| Error           | 85        | 21.377       | 1.694        |
| CV (%)          |           | 7.326        | 1.338        |

\*, \*\*, significativo al 0.05 y 0.01 niveles de probabilidad, respectivamente.

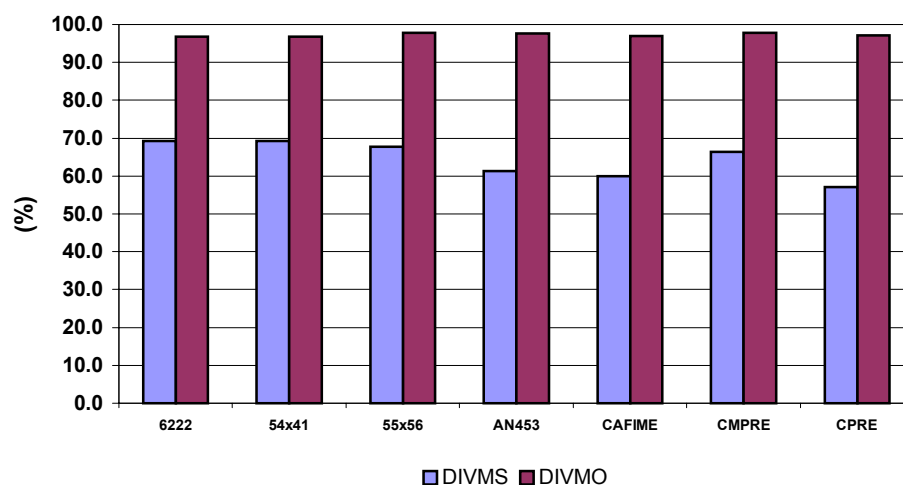
Sin embargo el análisis comparativo de las medias para DIVMS y DIVMO mostró diferencia solo en la DIVMS de acuerdo a la comparación múltiple de medias de Tukey (Cuadro 4.2).

**Cuadro 4.2 Medias de materiales genéticos en las determinaciones de digestibilidad *in vitro* materia seca (DIVMS) y materia orgánica (DIVMO).**

| ENT          | Material genético | DIVMS (%)            | DIVMO (%) |
|--------------|-------------------|----------------------|-----------|
| 8            | 54x41             | 69.34 a <sup>†</sup> | 96.79 a   |
| 4            | 6222              | 69.31 a              | 96.76 a   |
| 9            | 55x56             | 67.71 a              | 97.86 a   |
| 7            | CM SEL PRE        | 66.38 ab             | 97.86 a   |
| 10           | AN453             | 61.35 bc             | 97.69 a   |
| 2            | CAFIME            | 59.93 c              | 96.90 a   |
| 1            | C PRECOZ          | 57.18 c              | 97.05 a   |
| Tukey (0.05) |                   | 5.19                 | 1.46      |

<sup>†</sup> Valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes.

Se mencionó anteriormente que no se presentó diferencias significativas entre los muestreos evaluados (Cuadro 4.1.), por tal motivo, se analizó el comportamiento promedio de las determinaciones de digestibilidad *in vitro* en sus versiones de materia seca y materia orgánica (DIVMS, DIVMO), según (Figura 4.1).



**Figura 4.1 Determinaciones de la digestibilidad *in vitro* de materia seca (DIVMS) y materia orgánica (DIVMO) de los materiales genéticos en estudio.**

De esta comparación de resultados, se concluye, que solo se presentó diferencia de los materiales genéticos en la digestibilidad *in vitro* de materia seca que de acuerdo a diversos autores, pueden influir diversos factores, entre los que destacan:

1.- La ración ingerida por los animales empleados como donantes de líquido ruminal, es señalada como uno de los principales factores que afectan el número y actividad de los microorganismos ruminales y que, consecuentemente pueden afectar los valores de digestibilidad (DIV) de los alimentos (Weiss, 1994).

2.- Si se alimenta al animal donador con forrajes pobres bajos en proteína la correlación *in vitro* se reduce (Tejada, 1985).

3.- Dentro de los criterios de calidad para fuentes forrajeras, para la digestibilidad de la materia seca (DIVMS), se considera de baja calidad si tiene menos del 60 % y de alta calidad si tienen más del 65 % (Herrera, 1999).

4.- La variabilidad de la digestibilidad es mayor en la parte vegetativa que en el grano (Marten y Barnes, 1980).

Las determinaciones del análisis bromatológico permitió realizar la comparación del tamaño de muestra (1 – 5 plantas), los materiales genéticos, los métodos (muestra en fresco y seco), así como sus interacciones (Cuadro 4.3)

Al igual que en las determinaciones de digestibilidad *in vitro* los tamaños de muestra utilizados en las determinaciones del análisis bromatológico no fueron lo suficientemente útiles para encontrar diferencias entre ellos. En el caso de los materiales genéticos se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.01$ ) para todas las determinaciones excepto en fibra cruda (Cuadro 4.3).

**Cuadro 4.3 Cuadrados medios del análisis de varianza para las determinaciones del análisis bromatológico.**

| <b>FV</b>       | <b>GI</b> | <b>MST</b>    | <b>HUM</b>   | <b>CENIZA</b> | <b>PROT</b> | <b>GRASA</b> | <b>FIBRAC</b> |
|-----------------|-----------|---------------|--------------|---------------|-------------|--------------|---------------|
| Muestreos (MUE) | 4         | 3.819         | 4.233        | 0.266         | 0.408       | 0.004        | 3.902         |
| Entradas (ENT)  | 6         | 57.647 **     | 30.466 **    | 0.797 **      | 0.904 **    | 0.079 **     | 7.346         |
| ENT*MUE         | 24        | 11.850 *      | 13.453 **    | 0.631 **      | 0.457 **    | 0.003        | 9.816 *       |
| Métodos (MET)   | 1         | 110338.036 ** | 75950.901 ** | 397.419 **    | 650.630 **  | 0.519 **     | 46.067 **     |
| MET*MUE         | 4         | 3.476         | 1.949        | 0.152         | 0.265       | 0.002        | 8.905         |
| ENT*MET         | 6         | 18.291 **     | 72.070 **    | 0.185         | 1.140 **    | 0.094 **     | 36.692 **     |
| ENT*MET*MUE     | 24        | 4.592         | 6.448        | 0.304         | 0.291       | 0.004        | 2.866         |
| Error           | 50        | 5.711         | 5.498        | 9.633         | 0.196       | 0.007        | 5.209         |
| CV (%)          |           | 4.502         | 5.687        | 13.407        | 9.700       | 25.919       | 10.849        |

\*, \*\*, significativo al 0.05 y 0.01 niveles de probabilidad, respectivamente.

MST.= Materia seca Total; HUM.= Humedad; PROT.= Proteína; FIBRA C.= Fibra Cruda.

En la interacción ENT\*MUE se encontró diferencia estadística ( $P<0.05$ ) para las determinaciones de MST y FIBRAC; y para el caso de HUM, ceniza y PROT se encontró una diferencia significativa ( $P<0.01$ ), excepto en el contenido de grasa, lo cual indica el comportamiento diferencial de los materiales genéticos en relación con el tamaño de muestra utilizada.

Los métodos probados en el estudio, las determinaciones en muestra fresca (MF) y muestra seca (MS) fueron estadísticamente diferentes ( $P<0.01$ ) para todas las determinaciones. En el análisis de las dobles y triples interacciones, solo la interacción ENT\*MET fue estadísticamente diferente ( $P<0.01$ ) para la mayoría de las determinaciones excepto en el porcentaje de ceniza.

El análisis comparativo de los valores medios de los materiales genéticos para cada una de las determinaciones bromatológicas se presentan en el Cuadro 4.4, en todas las determinaciones se presentó una variación en los resultados debido al tipo de material genético excepto en la determinación de fibra cruda. Estos resultados coinciden con los valores de los cuadrados medios (Cuadro 4.3).

**Cuadro 4.4. Medias de los materiales genéticos en las determinaciones del análisis bromatológico.**

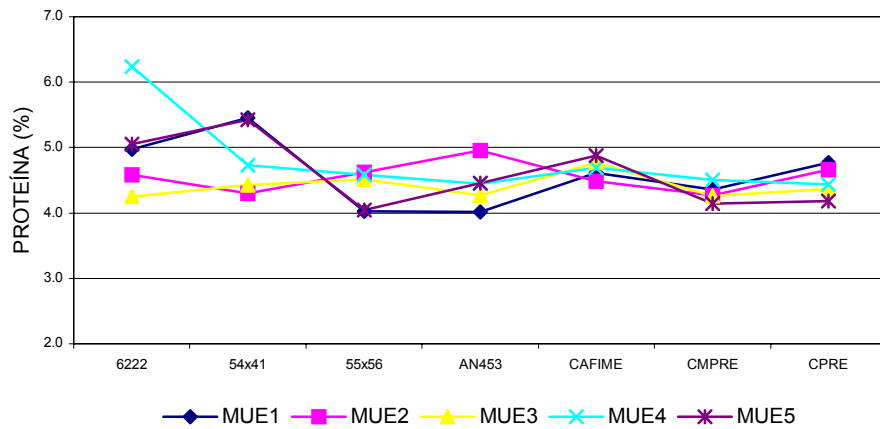
| ENT          | Mat. Genético | MST (%)              | HUM (%)  | CENIZA (%) | PROT (%) | GRASA (%) | FIBRAC (%) |
|--------------|---------------|----------------------|----------|------------|----------|-----------|------------|
| 4            | 6222          | 55.12 a <sup>†</sup> | 39.82 b  | 3.75 a     | 5.02 a   | 0.224 c   | 22.024 a   |
| 8            | 54x41         | 53.47 abc            | 40.77 ab | 3.57 ab    | 4.87 ab  | 0.279 bc  | 20.329 a   |
| 2            | CAFIME        | 51.40 bc             | 42.69 a  | 3.34 ab    | 4.69 abc | 0.297 bc  | 21.554 a   |
| 1            | C PRECOZ      | 50.89 c              | 41.44 ab | 3.07 b     | 4.48 bc  | 0.438 a   | 20.136 a   |
| 10           | AN453         | 53.67 ab             | 42.18 ab | 3.20 b     | 4.43 bc  | 0.342 b   | 21.006 a   |
| 9            | 55x56         | 55.16 a              | 39.60 b  | 3.13 b     | 4.36 c   | 0.301 bc  | 20.757 a   |
| 7            | CM SEL PRE    | 54.76 a              | 39.67 b  | 3.15 b     | 4.31 c   | 0.246 c   | 21.624 a   |
| Tukey (0.05) |               | 2.73                 | 2.68     | 0.50       | 0.51     | 0.094     | 2.605      |

<sup>†</sup> Valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes.

MST.= Materia seca Total; HUM.= Humedad; PROT.= Proteína; FIBRA C.= Fibra Cruda.

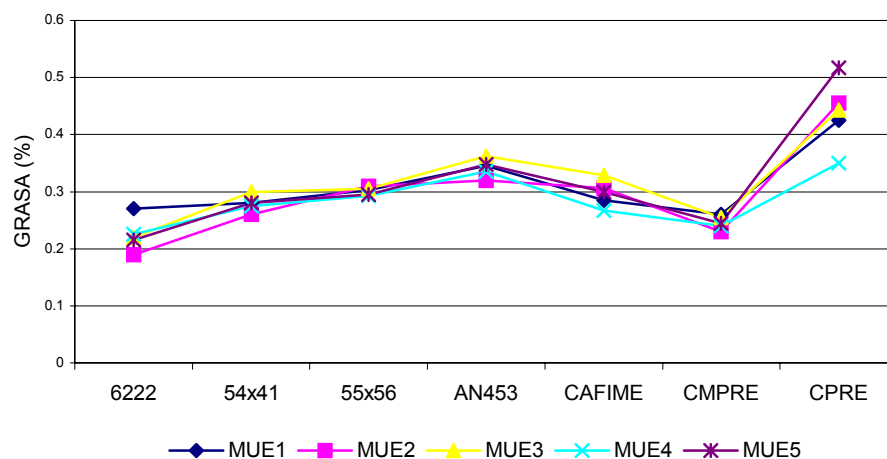
La interacción entre los materiales genéticos y el tamaño de muestra (ENT\*MUE) en las determinaciones de PROT, grasa y FIBRAC se presentan en las figuras 4.2, 4.3 y 4.4, respectivamente.

En la interacción materiales genéticos por muestreos (ENT\*MUE), los resultados del análisis de varianza mostraron diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) para las determinaciones de MST y FIBRAC; y de ( $P < 0.01$ ) para las determinaciones de HUM, ceniza y PROT, excepto en el contenido de grasa (Cuadro 4.3), donde CPRE obtuvo los valores más altos comparado con el resto de los materiales evaluados, sin embargo, no se encontró evidencia de los efectos del tamaño de muestra.



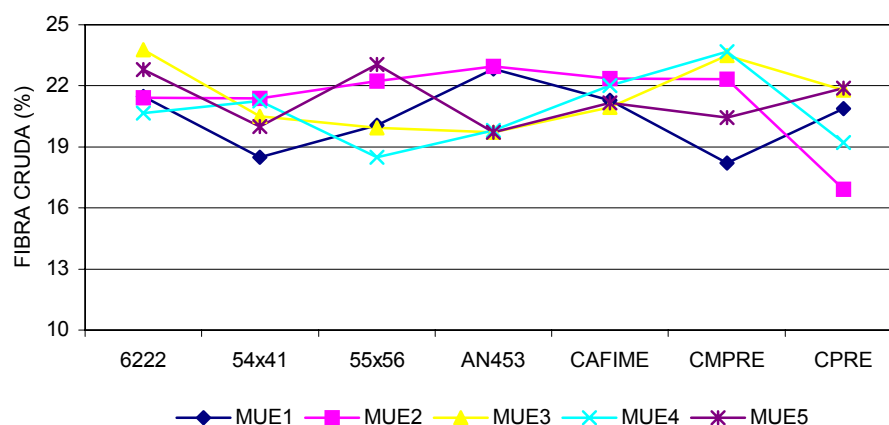
**Figura 4.2** Comparación de las determinaciones de proteína en la combinación del tamaño de muestra y los materiales genéticos evaluados.

La variación de la determinación de PROT, grasa y FIBRAC por efecto de los muestreos no es lo suficientemente amplia para que indique diferencia entre ellos. Sin embargo, no se presentó un patrón que indique la consistencia en los muestreos asociados con los materiales genéticos lo que justifica la interacción en PROT y FIBRAC.



**Figura 4.3** Comparación de las determinaciones de grasa en la combinación del tamaño de muestra y los materiales genéticos evaluados.

La ausencia de un patrón asociado con el tamaño de muestra en la determinación del análisis bromatológico (Figuras 4.2, 4.3 y 4.4 respectivamente), los cuales a su vez son estadísticamente iguales (Cuadro 4.3), pueden explicarse en principio por el tamaño de la muestra considerada para obtener los resultados. Asimismo, se considera que el otro factor conocido esta relacionado con el método de muestreo, el cual se efectuó al azar.



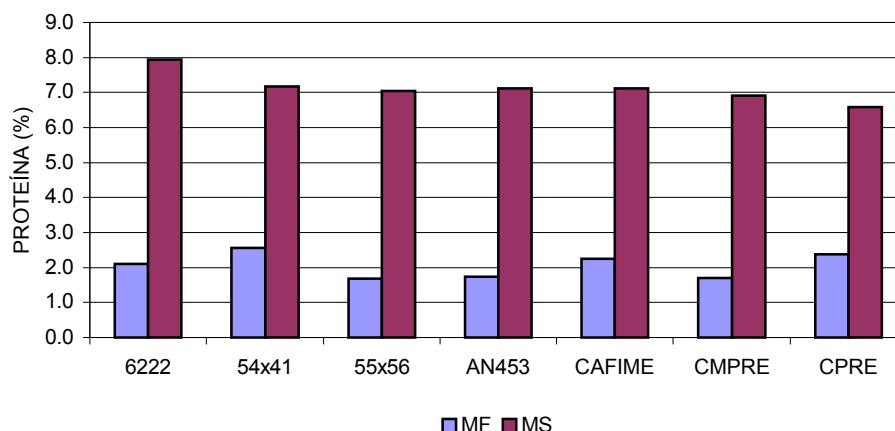
**Figura 4.4** Comparación de los valores de fibra cruda en la combinación del tamaño de muestra y los materiales genéticos evaluados.

La interacción entre los materiales genéticos y los tratamientos evaluados en las determinaciones de PROT, grasa y FIBRAC se presentan en las figuras 4.5, 4.6 y 4.7, respectivamente.

Los resultados del análisis de varianza muestran diferencia significativa entre los materiales genéticos ( $P < 0.01$ ) en las determinaciones de MST, HUM, PROT, grasa y FIBRAC; a excepción de ceniza donde no se encontró diferencia significativa (Cuadro 4.3).

La variación en la determinación de PROT (Figura 4.5), en cuanto a la muestra fresca; los valores promedio se encuentran entre 1.5 y 4.8 % (Flores, 1975), mientras que en los de muestra seca están entre 8 y 10 % (Valor Nutritivo de los Alimentos Mexicanos, 1977), con lo cual se puede decir que los resultados

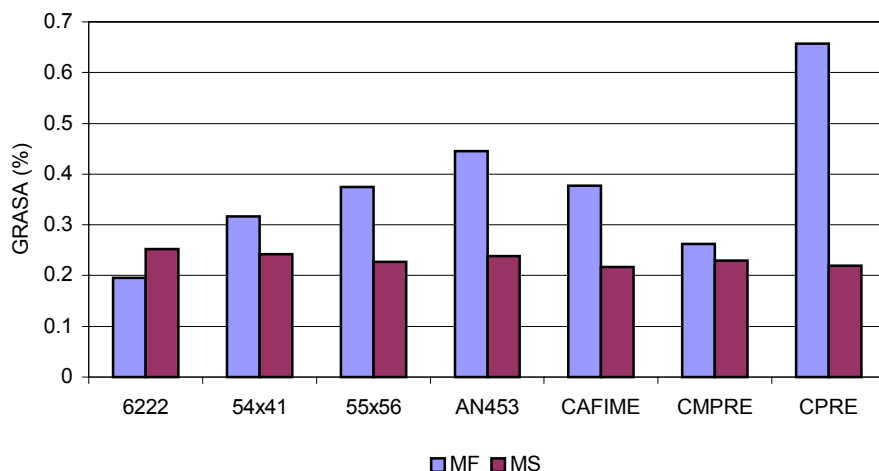
son similares a los reportados por (Flores, 1975) en el caso de muestra fresca; en cambio para los de muestra seca solo el material genético 6222 se acerca al valor mínimo aceptado, a excepción del resto.



**Figura 4.5 Comparación de los valores de proteína en la combinación de materiales genéticos y tratamientos evaluados.**

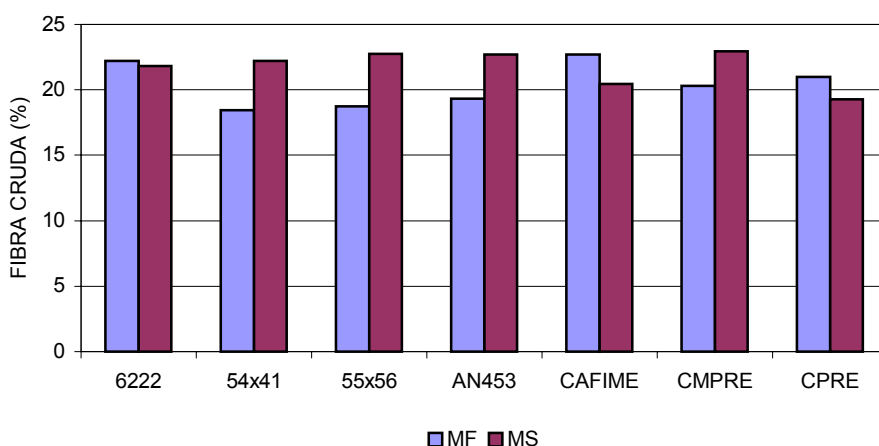
Asimismo, en la determinación de grasa (Figura 4.6), los valores promedio aceptados para la muestra fresca son de 0.3 a 1.4 % y para los de muestra fresca están de 0.3 a 1.10 % (Flores, 1975), comparándolos con los resultados en este estudio quedan dentro de los valores promedio reportados. Entre los materiales genéticos se encontró un comportamiento variable en los resultados del contenido de grasa para muestra fresca y seca. A nivel comparativo sobresale el material genético CPRE en el caso de la muestra fresca. Estos resultados pueden deberse a que la muestra fresca no se encontraba lo suficientemente homogénea debido al tamaño de partículas, lo cual repercute en el método de muestreo, donde en algunos materiales genéticos se apreciaba mayor cantidad de grano que de parte vegetativa, por lo cual, es importante mencionar que el grano contiene mayor cantidad de grasa.





**Figura 4.6 Comparación de los valores de grasa en la combinación de materiales genéticos y tratamientos evaluados.**

En cuanto a la determinación de FIBRAC (Figura 4.7), los valores promedio reportados por Flores (1975), para muestra fresca son de 18 a 36 % (según datos de variedades sembradas en Apodaca, N.L, 1979) y para muestra seca están de 16 a 24 % aproximadamente (Valor Nutritivo de los Alimentos Mexicanos, 1977); comparándolos con nuestros resultados se puede apreciar que la variabilidad entre los materiales genéticos para ambos tratamientos no es tan amplia, tomando en cuenta la diferencia de concentración tanto de grano como de parte vegetativa



**Figura 4.7 Comparación de los valores de fibra cruda en la combinación de materiales genéticos y tratamientos evaluados.**

## **CAPÍTULO 5**

### **CONCLUSIONES**

- El tamaño de muestra no influyó en las diferentes determinaciones de los análisis, por lo tanto la calidad nutricional puede ser determinada por una o cinco plantas de manera similar.
- En la comparación de las determinaciones de calidad de poblaciones de maíz se observó que si hay diferencias entre muestras frescas y secas, debido a que en las muestras frescas existe mayor contenido de agua, y en las muestras secas hay una mayor concentración de sólidos.
- La definición de los criterios de toma de muestras en plantas de maíz no modifico la eficiencia en las determinaciones de calidad de las mismas, pero si en la obtención de las muestra por requerir menos material experimental. Se encontró una asociación directa en el contenido nutricional de las plantas de maíz determinado en base a muestras frescas y secas.

## CAPÍTULO 6

### RECOMENDACIONES

Se recomienda que al momento de realizar el muestreo en el campo experimental, este se realice en forma homogénea, es decir que la muestra sea molida o picada en partículas más pequeñas, para que en el momento de realizar los análisis en el laboratorio, se tomen tamaños de muestra representativos de la planta y así obtener resultados confiables.

En la determinación de la digestibilidad *in vitro*, se recomienda realizar tres repeticiones de cada muestra, con el fin de obtener resultados más confiables tanto para la digestibilidad *in vitro* de materia seca (DIVMS) como de materia orgánica (DIVMO).

Para determinar el contenido de grasa, si se manejan muestras frescas, se recomienda usar más cantidad de muestra de lo que indica la técnica del AOAC, 1980; ya que la muestra pierde gran contenido de humedad y eso la hace perder peso. Lo cual no es conveniente debido a que la misma muestra es usada en la determinación de fibra cruda.

Asimismo, en la determinación de fibra cruda para el caso de muestra fresca, se recomienda que antes de hacer el análisis, la muestra sea cortada o picada en partículas lo mas pequeñas que sea posible, para obtener resultados mas exactos y confiables.

## CAPÍTULO 7

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**A.O.A.C. 1980.** Métodos Oficiales del Análisis. Association of Official Agricultural Chemists. Washington, D.D.,U.S.A.

**Alexander R., H. 1967.** Establecimiento de un sistema de digestibilidad *in vitro* en el laboratorio. Memorias del simposio realizado en la Estanzuela, Uruguay.

**Castillo G., E. 1988.** Atributos asociados a la calidad nutritiva de los forrajes tropicales. Segunda reunión bianual de nutrición animal. UAAAN. Saltillo, México.

**Flores M. J. A. 1975.** Composición del forraje y ensilaje de maíz. In: Bromatología Animal. Ed. Limusa. México. 145 p.

**Hernández C., J. 1994.** Determinación de la Calidad Nutritiva de Girasol (*Helianthus annuus L.*), Maíz (*Zea mays L.*), y Sorgo (*Sorghum vulgare Pers.*) Como Forraje Verde y Ensilaje. Tesis profesional. UAAAN. Saltillo, México.

**Hernández X., E. 1972.** Consumo Humano de Maíz y el Aprovechamiento de Tipos con alto Valor Nutritivo. In: Simposio sobre Desarrollo y Utilización de Maíces de Alto Valor Nutritivo. Colegio de Postgraduados, Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México. p13.

**Herrera S. R. 1999.** La importancia de los maíces y sorgos mejorados para la producción de ensilaje. In: MEMORIA del 2º Taller Nacional de Especialidades de Maíz. SAGAR-UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO. Saltillo, Coahuila, México. 133 p.

- Howarth, R. E and R. B. Gopen. 1983.** Improvement of forage quality through production management and plant breeding. Can. J. Plant Sci. 63: p: 895.
- Imshenetskii, E. I. 1979.** Accumulation of Dry Matter and Crude Protein by Plants of Low – and High Protein Forms of maize. Field Crop abstract 32 (2): 107 (En ruso el original con resumen en inglés).
- Juscafresa B., 1974.** Forrajes, fertilizantes y valor nutritivo. 1ª Edición. Editorial AEDOS. Barcelona, España. pp: 49.
- Kramer, H.H. and R.L. Whistler. 1949.** Quantitative effects on corn endosperm starch.. Agron. Jour. 441: pp: 409.
- Marten, G. C. and R. F. Barnes. 1980.** Prediction of energy digestibility of forages with *in vitro* rumen fermentation and fungal enzyme systems. In: W.J. Pidgen, C.C. Balch, M. Graham (eds). Standardization of Analytical Methodology for Feeds. 61 p. IDRC, Ottawa, Canada.
- Maynard L., A. Loosli J., K. Hintz H., F y Warner R., G. 1977.** Nutrición Animal. 4a Edición en español. Editorial Mc Graw—Hill. México. pp:39.
- Morrison, B.F. 1965.** Alimentos y alimentación del ganado. (Traducción de J.L. de la Loma. UTHEA, México). Tomo I. 418 p.
- Mould, F. L. 1988.** Associative effects of feeds. In: Orskov, E. R (Ed). Feed Science. Pp. 279. Elsevier. Amsterdam.
- Núñez H., G., E. F. Contreras G., R. Faz C. y Herrera S. 1999.** Selección de híbridos para obtener mayor rendimiento y alto valor energético en maíz para ensilaje. In: Núñez H., G. *et al.* Eds. Componentes tecnológicos para

la producción de ensilados de maíz y sorgo. SAGAR, INIFAP. CELALA. Torreón, Coahuila, México. 181 p.

**Publicación** Valor Nutritivo de los Alimentos Mexicanos de la división de Nutrición del Instituto Nacional de la Nutrición, México, 1977.

**Raymond W., F. 1967.** Aplicación de las técnicas de digestibilidad *in vitro* Memorias del simposio realizado en la Estanzuela, Uruguay.

**Raymond W, F. S. G. y W. R. 1977.** Forraje, conservación y alimentación. 1ª Edición. Editorial G.E.A. Barcelona, España. p: 17.

**Reyes C., P. 1990.** El maíz en México y en el mundo. In: El maíz y su cultivo. AGT. Editor S.A. p.19.

**Robles, S.R. 1983.** Producción de granos y forrajes. Segunda edición. Editorial Limusa. México. p. 73.

**Smith, G.M. and A.M. Branson. 1946.** Hybrid popcorn in Indiana. Purdue Agr. Sta. Bul. N° 510.

**Smith G.M. 1955.** Swet Corn. Corn and Corn improvement. Academic Press.

**Tejada H. I. 1992.** Digestibilidad *in vitro* de forrajes. In: Control de Calidad y Análisis de Alimentos para Animales. México. 321 p.

**Tejada I. 1985.** Manual de Laboratorio para Análisis de Ingredientes Utilizados en la Alimentación Animal. 1ª. Ed. 1983

**Tilley, J.M. and R.A. Terry. 1963.** A two stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. J. Br. Grassl. Soc., 18: 104.

**Weiss, W. P, 1994.** Estimation of digestibility of forages by laboratory methods. In:  
G. C. Fahey (ed). Forage Quality, Evaluation and Utilization. American  
Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA. 644 p

## APÉNDICE

### DETERMINACIÓN DE MATERIA SECA PARCIAL.

#### Procedimiento:

1. Pesar muestra
2. Pesar charola
3. Cortar la muestra en trozos delgados
4. Pesar charola más la muestra fresca
5. Meter a estufa de 55 a 60° C por 12 h
6. Sacar la charola, dejarla en la mesa por 3 minutos y pesar
7. Calcular el % de Materia Seca Parcial, mediante la siguiente formula:

$$\%materia\ seca\ parcial = \frac{peso\ seco}{peso\ húmedo} \times 100$$

### DETERMINACIÓN DE MATERIA SECA TOTAL.

#### Procedimiento:

1. Sacar un crisol de porcelana de la estufa con pinzas
2. Enfriar de 10 a 15 minutos en un desecador
3. Pesar el crisol en la balanza analítica y registrar el peso
4. Pesar 2 gramos de muestra y colocarla en el crisol previamente pesado
5. Meter a la estufa a una temperatura de 100 a 103° C por 24 h
6. Sacar y enfriar en desecador de 10 a 15 minutos.
7. Pesar y calcular mediante la siguiente formula:



$$\%materia\ sec\ a\ total = \frac{crisol\ con\ muestra - crisol\ solo}{gramos\ de\ muestra} \times 100$$

### **DETERMINACIÓN DE HUMEDAD.**

La humedad se determina por diferencia de 100 y los resultados obtenidos de Materia Seca Total, tanto para las muestras frescas y secas. Expresándose en porcentaje.

### **DETERMINACIÓN DE CENIZAS.**

#### **Procedimiento:**

1. Pesar 2 g de muestra.
2. Colocar en un crisol de porcelana (previamente pesado)
3. Preincinerar en la parrilla hasta que no saque humo.
4. Poner en la mufla a una temperatura de 600° C durante 3 horas.
5. Sacar y enfriar en desecador de 20 a 30 minutos.
6. Pesar y calcular mediante la siguiente fórmula:

$$\%ceniza = \frac{crisol\ ceniza - crisol\ solo}{gramos\ de\ muestra} \times 100$$

### **DETERMINACIÓN DE PROTEÍNA CRUDA (MÉTODO KJELDHAL)**

#### **Procedimiento:**

#### **1ª. FASE: DIGESTIÓN**

1. Pesar 1 g de muestra sobre papel filtro para que no se adhiera al cuello del matraz.

2. Depositar en el matraz Kjeldhal la muestra pesada y 6 perlas de vidrio
3. Adicionar 1 cucharada de mezcla reactiva de selenio (como catalizador)
4. Agregar 30 ml de ácido sulfúrico concentrado ( $H_2SO_4$ ).
5. Poner a digestión en parrillas del Kjeldhal en el # 6 del termostato (prender el extractor)
6. Digerir hasta color cristalino verde o azul claro.
7. Apagar el termostato y enfriar.

## 2ª. FASE: DESTILACIÓN

8. Agregar 300 ml de agua destilada y dejar enfriar.
9. Preparar un matraz Erlenmeyer de 500 ml con 50 ml de ácido bórico 4 %.
10. Agregar de 6 a 8 gotas de indicador mixto (verde de bromocresol y rojo de metilo).
11. Prender las parrillas del Kjeldhal de la parte destiladora, acomodar el matraz erlenmeyer quedando la manguera dentro de la solución de ácido bórico.
12. Agregar al matraz Kjeldhal 110 ml de hidróxido de sodio al 45 % por las paredes.
13. Agregar 6 perlas de zinc.
14. Conectar el matraz Kjeldhal al bulbo.
15. Destilar hasta recuperar un volumen de 250 ml.

## 3ª. FASE: TITULACIÓN

16. Titular con ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) N 0.01 valorado, hasta que vire de azul a rojo.
17. Calcular mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{nitrógeno} = \frac{(\text{ml gatados titulación} - \text{ml blanco})(0.014)(N 0.01)}{\text{gramos de muestra}} \times 100$$

$$\% \text{ proteína cruda} = \% \text{ nitrógeno} \times \text{factor conversión}$$

**NOTA:** Finalmente el porcentaje de proteína cruda se calculo multiplicando el porcentaje de nitrógeno por el factor de conversión ( en este caso fue de 6.25 para el maíz).

### **DETERMINACIÓN DE GRASA (MÉTODO SOXHLET).**

#### **Procedimiento:**

1. Pesar 4 g de muestra en papel filtro.
2. Pasarlo a un cartucho de celulosa e identificar.
3. Sacar un matraz bola de la estufa, que este a peso constante, enfriar en desecador de 10 a 15 minutos y pesar.
4. Agregar aproximadamente de 150 a 200 ml de solvente (en este caso se utilizo hexano)
5. Conectar el matraz bola con solvente al sifón y al refrigerante.
6. Realizar la extracción por 12 h (dependiendo de la muestra)
7. Transcurrido el tiempo, desconectar el soxhlet y meter a la estufa hasta peso constante.
8. Sacar, enfriar en desecador durante 15 minutos y pesar.
9. Calcular mediante la siguiente formula:

$$\% \text{ extracto etereo} = \frac{\text{matraz con grasa} - \text{matraz solo}}{\text{gramos muestra}} \times 100$$

### **DETERMINACIÓN DE FIBRA CRUDA**

#### **Procedimiento.**

1. Pesar 2 g de muestra desengrasada.
2. Pasarla a un vaso de Berzelius de 500 ml.
3. Agregar 100 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0.255 N).
4. Pasarlo a una parrilla del aparato de reflujo y prender.
5. Cuando empiece a hervir contar 30 minutos.
6. Sacar y filtrar con tela de lino.
7. Lavar con 3 porciones de 150 ml de agua caliente hasta quitar la Rx (H<sup>+</sup>).
8. Pasar la muestra que queda en la tela, al vaso nuevamente y agregar 100 ml de hidróxido de sodio (0.313 N), hervir por 30 minutos.
9. Sacar, filtrar con tela de lino y lavar con agua caliente hasta quitar la Rx (OH<sup>-</sup>).
10. Sacar la fibra y pasarla a un crisol de porcelana (sin pesar).
11. Meter el crisol con fibra a la estufa por 12 h.
12. Sacar, enfriar en desecador y pesar.
13. Preincinerar y meter a la mufla a una temperatura de 600° C por 3 h.
14. sacar, enfriar y pesar.
15. Calcular mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ fibra cruda} = \frac{\text{crisol fibra sec a} - \text{crisol fibra cenizas}}{\text{gramos muestra}} \times 100$$

### DETERMINACIÓN DE DIGESTIBILIDAD “*in vitro*”

#### Procedimiento:

1. Pesar 0.5 g de forraje seco de 55 a 60° C, por triplicado (en este caso se realizó por duplicado) y ponerlo dentro de tubos de polietileno de 100 ml.
2. Separar 3 tubos que servirán de blancos (estos no llevarán muestra, solo líquido ruminal y saliva).

3. Adicionar 50 ml de saliva de Mc Dougal. Tapar los tubos con las válvulas Bunsen, e inmediatamente después colocar el tubo en el baño serológico, el cual debe estar a 39° C después de haber colocado todas las muestras en el baño, agitar ligeramente cada una con movimiento circular, cuidando de que la muestra no quede pegada en las paredes del tubo (realizar la agitación 2 veces al día evitando exceso de luz).
4. Incubar a 39° C durante 48 h.
5. pasado este tiempo, suspenda la incubación y refrigere durante 30 minutos.
6. Centrifugar de 2000 a 3000 r.p.m por 10 minutos y decantar.
7. Adicionar al residuo de la digestión con liquido ruminal 50 ml. de pepsina ácida a 40° C. tapar los tubos e incubar 48 horas a 39° C.
8. Después de la incubación filtrar el contenido del tubo a través de un papel filtro sin cenizas previamente pesado y secado a 50° C.
9. Lavar con agua destilada enjuagando el tubo, para que no quede muestra adherida a el.
10. Retirar el papel filtro con el residuo, depositándolo en un crisol de porcelana previamente pesado.
11. Colocar el crisol de porcelana con su contenido en el desecador, enfriar y pesar.
12. Preincinerar y meter a la mufla a 600° c por 3 horas.
13. Por separado determinar el % de materia seca y materia orgánica de la muestra.
14. Calcular el porcentaje de la digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica.
15. Calcular mediante las siguientes fórmulas:

**A.-** Peso secado al aire de la muestra = 0.5 g.

**B.-** % MST.

**C.-** % MO muestra base seca.

**D.-** Peso crisol vacío o peso de papel.

**E.-** Peso crisol mas residuo o papel mas residuo.

**F.-** Peso crisol mas cenizas.

**G.-** % MS inicial  $A \times B \text{ g} / 100$ .

**H.-** Materia seca residuos de la muestra E-D g.

**I.-** Materia seca residual del blanco x los tres tubos E-D g.

**Digestibilidad *in vitro* de la materia seca %**

$G - (H - I) \times 100 / G$

J.- Materia seca inicial g.

$G (C) / 100$

K.- M. O residual de la muestra E – F g.

L.- M. O residual del blanco x los tres tubos E – F g.

**Digestibilidad *in vitro* de la Materia Orgánica %**

$J - (K - L) \times 100 / J$

**% Materia Orgánica**

% M. O base seca = % MST – ceniza base seca.